



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA E HISTORIA DEL
MEDITERRÁNEO DESDE LA PREHISTORIA A LA EDAD MODERNA

*Gestión tradicional del agua en ámbitos áridos
y semiáridos del Levante español y Túnez:
Análisis comparado*

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Ghaleb FANSA

Dirigida por:

Dr. Alejandro J. PÉREZ CUEVA

Dr. Jorge HERMOSILLA PLA

Dr. Emilio IRANZO GARCÍA

Junio de 2018



PROGRAMA DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA E HISTORIA DEL
MEDITERRÁNEO DESDE LA PREHISTORIA A LA EDAD MODERNA

*Gestión tradicional del agua en ámbitos áridos
y semiáridos del Levante español y Túnez:
Análisis comparado*

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Ghaleb FANSA

Dirigida por:

Dr. Alejandro J. PÉREZ CUEVA

Dr. Jorge HERMOSILLA PLA

Dr. Emilio IRANZO GARCÍA

Junio de 2018

A mi familia, tanto la parte siria como la española,

Especialmente a mi padre.

Os debo mucho.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis directores de la tesis y a sus familias, su tiempo, paciencia y sobre todo su amistad. Sin el apoyo y la dedicación que he recibido por parte de ellos durante todas las etapas de la elaboración de mi tesis habría resultado imposible llegar a buen puerto.

Desde que llegué a España para iniciar mis estudios de doctorado en la Universidad de Valencia me encontré con unas personas que, de manera totalmente desinteresada, me arroparon y me ofrecieron todo el apoyo que necesitaba. Entre ellas se hallan los codirectores de esta investigación: El Dr. Alejandro J. Pérez Cueva fue el codirector de mi trabajo del Diploma de Estudios Avanzados, y posteriormente colaboré con él en varios temas de investigación, y a raíz de todo eso nació una gran amistad. Acabada la primera etapa de los estudios de doctorado “DEA”, es cuando conocí al Dr. Jorge Hermosilla Pla, que me brindó la oportunidad de formar parte de ESTEPA, el grupo de investigación que él dirige, hecho con el cual empezó de forma práctica una rica e interesante andadura profesional que me permitió conocer mejor el territorio y perfeccionar herramientas que me han sido de gran utilidad para llevar a cabo esta tesis doctoral. Asimismo, me facilitó en gran medida las tareas de trabajo de campo que desarrollé en Túnez para la presente, forjándose igualmente una sólida amistad entre nosotros. En aquellos inicios en ESTEPA, fue cuando conocí al Dr. Emilio Iranzo García quien también forma parte del mencionado grupo de investigación, que siempre ha estado a mi lado apoyándome y ha depositado en mí su confianza, invitándome a participar en algunos de sus proyectos. Gracias amigos por estar ahí.

Con la misma intensidad quiero agradecer a mis compañeros en el grupo de investigación ESTEPA su apoyo incondicional. Todos ellos han demostrado que son, no sólo compañeros, sino también amigos: Catherine Andrés, Miguel Antequera (mi primer compañero de trabajo de campo), José Vicente Aparicio (gracias por tu compañía en unas de las más provechosas jornadas de trabajo de campo), Inmaculada Devís, Roberto Escrivá, Mónica Fernández, Miguel Ángel González, Sandra Mayordomo, Joan Carles Membrado, Juan Ortiz, Mariano Palomares, Juan Antonio Pascual, Carme Piqueras y mi amigo Martín Peña.

Sin lugar a duda, debo de dar las gracias al Institut des Régions Arides, que ha puesto a mi disposición su biblioteca, con abundante material relacionado con la temática de la tesis. En especial doy las gracias al Dr. Mohamed Moussa y al doctorando Mohamed Abbassi por su implicación en la realización de las tareas de trabajo de campo y por la orientación y consejos al largo de mis estancias en Túnez, que fueron cruciales en esta investigación.

Algunas personas, con su grata presencia, hacen que un arduo camino sea agradable. Entre estas personas quiero destacar a María Teresa Cuevas que a lo largo del proceso no dejó de transmitirme serenidad y sosiego. También quiero agradecer a José Luis Penalba por su apoyo y amistad. Así mismo quiero mencionar a María Paz Caballero y a Estefanía de la Vega, por sus consejos y ánimos.

Así mismo, estoy muy agradecido a mis compatriotas y amigos, que por diversas razones tuvieron de salir de Siria y construir sus vidas aquí: Basel, Fahed, Hani, Kamal y Tawfik.

Finalmente quiero dar las gracias a mi familia, tanto los que están lejos: mi madre Touran y mis hermanos (en especial mi mellizo Abdullah); como a los que están cerca: mis tíos Ailaz y Oghor y mis primos (Aida, Alia, Amparo y Walid) y sobre todo a mis tías Amparo y Consuelín, por su afecto especial y su cariño, también a los abuelos Consuelo y Florentino por la humildad y sabiduría que siempre me han transmitido. Y a la parte más allegada, quienes han tenido que soportar conmigo los duros momentos y compaginar su escaso tiempo para que pudiera disponer yo de él durante este intenso proceso, y más aún, en la recta final: quiero expresar mi afecto y agradecimiento a mis padres políticos, Pepe y Feli por cuidar de nosotros y de su nieta. Por último, todas las gracias a mi querida compañera de vida Laura por estar ahí en todo momento y ayudarme a materializar un sueño. Y como no, a nuestra querida Nur, por el simple hecho de existir.

ÍNDICE

1. CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.1. EL TEMA ELEGIDO.....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	22
1.3. CONTEXTO GEOGRÁFICO GENERAL.....	25
1.3.1. SE de España.....	26
1.3.2. Túnez semiárido.....	35
1.4. METODOLOGÍA Y FUENTES.....	50
1.5. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	52
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	55
2.1. LA GESTIÓN TRADICIONAL DEL AGUA COMO RIESGO O RECURSO (R/R).....	57
2.1.1. Contextos de R/R en España y Túnez.....	57
2.1.2. El sistema “precipitaciones intensas-riesgo-recursos hídricos”.....	61
2.1.3. Conversión lluvia-caudal.....	66
2.1.4. Estrategias de gestión del riesgo en las precipitaciones torrenciales.....	68
2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN EL MEDITERRÁNEO.....	69
2.2.1. El <i>water harvesting</i>	72
2.2.2. Clasificación de sistemas de <i>water harvesting</i> : criterios y tipologías.....	78
2.2.2.1. Según orígenes del agua.....	78
2.2.2.2. Según usos del agua y según capacidad de recarga.....	80
2.2.2.3. Según contextos ambientales.....	80
2.2.2.4. Una síntesis de clasificación adaptada.....	81
2.2.3. Principales técnicas de <i>water harvesting</i> en SE español y Túnez.....	83
2.2.3.1. La tradición del <i>water harvesting</i>	83
2.2.3.2. Técnicas habituales de <i>water harvesting</i>	85
3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS.....	91
3.1. DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍAS EN EL LEVANTE ESPAÑOL.....	93
3.1.1. El caso de las cuencas del Bco. de San Cristóbal y La Cañadilla (Monteagudo del Castillo).....	94
3.1.1.1. Características del área de estudio.....	95
3.1.1.2. Metodología específica.....	99
3.1.1.3. La antropización del drenaje en los barrancos de San Cristóbal y La Cañadilla.....	101
3.1.2. El caso del valle del Bco. de Cabrera (Segorbe).....	112
3.1.2.1. Características del área de estudio.....	113
3.1.2.2. Los sistemas antrópicos de drenaje.....	119
3.1.2.3. Los elementos de defensa contra la erosión.....	137
3.2. MESKAT DEL VALLE DE HAMMAM (SOUSSE).....	142
3.2.1. Características del meskat.....	143
3.2.1.1. Principios, objetivos y función.....	144
3.2.1.2. Contexto histórico, geográfico y ambiental.....	144
3.2.1.3. Elementos y estructura del meskat.....	145
3.2.1.4. Distribución espacial.....	147
3.2.1.5. Evolución reciente.....	148
3.2.2. Características de la zona de estudio.....	149
3.2.3. Metodología específica.....	154
3.2.4. Resultados.....	158
4. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA EN FONDOS DE VALLE.....	167
4.1. CONDICIONES GENERALES.....	170
4.2. METODOLOGÍA ESPECÍFICA.....	173
4.3. CULTIVOS EN FONDO DE VALLE EN VALMADRID (ZARAGOZA).....	175
4.3.1. Contexto ambiental.....	176
4.3.1.1. Geología y relieve.....	176
4.3.1.2. Clima.....	179

4.3.2. Descripción del sistema.....	181
4.3.2.1. Cuenca y red fluvial.....	181
4.3.2.2. Los cultivos.....	184
4.3.2.3. Degradación.....	187
4.4. CULTIVOS EN FONDO DE VALLE EN ALBÁNCHÉZ (ALMERÍA).....	188
4.4.1. Contexto ambiental.....	188
4.4.1.1. Geología y relieve.....	188
4.4.1.2. Clima.....	191
4.4.2. Descripción del sistema.....	193
4.4.2.1. Cuenca y red fluvial.....	193
4.4.2.2. Los cultivos.....	195
4.4.2.3. Degradación.....	200
4.5. LOS SISTEMAS DE JESSOUR Y TABIAS EN MATMATA.....	201
4.5.1. Contexto ambiental.....	202
4.5.1.1. Geología y relieve.....	202
4.5.1.2. Clima.....	208
4.5.2. Descripción del sistema.....	209
4.5.2.1. Cuenca y red fluvial.....	211
4.5.2.2. Los cultivos.....	214
4.5.2.3. Degradación.....	216
4.6. LOS SISTEMAS DE JESSOUR Y TABIAS EN KOUTINE (MEDENINE).....	217
4.6.1. Contexto ambiental.....	218
4.6.1.1. Geología y relieve.....	219
4.6.1.2. Clima.....	220
4.6.2. Descripción del sistema.....	221
4.6.2.1. Cuenca y red fluvial.....	221
4.6.2.2. Los cultivos.....	223
4.6.2.3. Degradación.....	228
5. SISTEMAS DE DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍA CONCENTRADA.....	231
5.1. INTRODUCCIÓN.....	233
5.1.1. La técnica.....	233
5.1.2. Algunas referencias históricas.....	235
5.1.3. Los condicionantes del medio físico.....	236
5.1.4. Objetivos del trabajo.....	237
5.2. APROVECHAMIENTOS EN CONOS DE DEYECCIÓN.....	238
5.2.1. Las boqueras de Tiata (Lorca) y Tiñosa (Beniján).....	239
5.2.1.1. Boquera de Tiata (Lorca).....	240
5.2.1.2. Boqueras de Tiñosa (Beniján) y de la Presa de Guadalupe.....	244
5.2.2. Mgoud de Belkhir (Belkhir-Gafsa).....	248
5.2.2.1. Contexto ambiental, estructural y geomorfológico.....	249
5.2.2.2. Descripción del sistema.....	253
5.3. APROVECHAMIENTO EN TERRAZAS Y GLACIS.....	256
5.3.1. Bhira y Ahimeur (Benikhdech-Medenine) y Ouarifene (Mareth-Gabes).....	256
5.3.1.1. Descripción de los sistemas.....	257
5.3.1.2. El contexto climático de la conversión lluvia-caudal.....	264
5.3.2. La Tosca (Xixona), La Revuelta (Agost) el Salt (Petrer) y Fontcalent (El Rebolledo, Alicante).....	269
5.3.2.1. Descripción de los sistemas.....	271
6. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS.....	283
6.1. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBÁLVEAS CON GALERÍAS DRENANTES.....	285
6.1.1. Características generales del sistema.....	287
6.1.1.1. Tipos y elementos de las galerías.....	287
6.1.1.2. Las galerías de aguas subálveas.....	288
6.1.1.3. Usos y estado.....	289
6.1.1.4. Estrategia ambiental del sistema.....	291

6.1.2. Contextos ambientales de los sectores seleccionados.....	292
6.1.2.1. <i>Galerías de aguas subálveas en Túnez</i>	294
6.1.2.2. <i>Galerías de aguas subálveas en el SE español</i>	299
6.1.3. Características de las galerías.....	305
6.1.3.1. <i>Galerías tunecinas</i>	305
6.1.3.2. <i>Galerías del SE español</i>	312
6.2. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS CON NORIAS “DE SANGRE”....	318
6.2.1. La extracción de aguas subterráneas y subálveas con sistemas de pozos y norias.....	318
6.2.2. Las norias en Túnez: Testour.....	320
6.2.2.1. <i>El medio físico</i>	321
6.2.2.2. <i>Características de los sistemas de norias en Testour</i>	327
6.2.3. Las norias de los meandros del Xúquer en la Ribera Alta.....	330
6.2.3.1. <i>El medio físico</i>	332
6.2.3.2. <i>Características de los sistemas seleccionados de norias en la Ribera Alta</i>	337
7. ANÁLISIS COMPARADO Y CONCLUSIONES.....	343
7.1. EL AGUA EN LADERAS.....	346
7.2. EL AGUA EN FONDO DE VALLE.....	348
7.3. LA GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA CONCENTRADA.....	349
7.4. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	351
7.5. EL FACTOR CLIMA.....	352
7.6. EL FACTOR LITOLÓGICO.....	354
7.7. EL FACTOR RELIEVE Y EL ÁMBITO GEOMÓRFICO.....	355
7.8. EL AGUA COMO RIESGO/RECURSO.....	356
7.9. TENDENCIAS ACTUALES.....	358
BIBLIOGRAFÍA.....	361
ANEXOS.....	383
ANEXO I. Tratamiento cartográfico detallado de los sectores de <i>meskat</i> seleccionados	383
ANEXO II. Sistemas de aprovechamiento de fondos de valle	401
ANEXO III. Sistemas de derivación de aguas concentradas	419
ANEXO IV. Temperatura y precipitaciones en Túnez	433

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 1.1	Perfiles topográficos N-S y NE-SW de la Península Ibérica con las principales unidades de relieve.....	27
Figura 1.2	Principales unidades geológicas de España peninsular y Baleares.....	28
Figura 1.3	Estructuras tectónicas actuales relacionadas con el denominado “Rift Valley europeo”.....	30
Figura 1.4	Mosaico de tipos de climas de Köppen-Geiger en la mitad oriental de la Península Ibérica, para el periodo 1981-2010.....	31
Figura 1.5	Localización de los sectores y sistemas analizados en el SE español.....	34
Figura 1.6	Grandes dominios del Atlas magrebí.....	36
Figura 1.7	Orografía de Túnez.....	38
Figura 1.8	Rasgos tectónicos del Mediterráneo occidental.....	40
Figura 1.9	Evolución paleogeográfica que muestra la relación entre la sedimentación y la tectónica en Túnez.....	41
Figura 1.10	Reconstrucción tectónica de placas para la región del Mediterráneo occidental.....	42
Figura 1.11	Mapa paleogeográfico y paleotectónico del Neógeno en Túnez.....	43
Figura 1.12	Mapa estructural y principales alineamientos de Túnez.....	44
Figura 1.13	Grandes dominios climáticos de Túnez (según los criterios de clasificación de Köppen).....	47
Figura 1.14	Localización de los sectores y sistemas analizados en Túnez.....	49

CAPÍTULO 2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Figura 2.1	Distribución espacial de las precipitaciones medias anuales en el Mediterráneo.....	58
Figura 2.2	Recorrido de las depresiones mediterráneas, con indicación de las frecuencias anuales medias y de los manantiales de las masas de aire.....	59
Figura 2.3	Diagrama que muestra las “envolventes” de los records de precipitación mundiales y valencianos a diferentes escalas temporales, desde un minuto hasta dos años.....	61
Figura 2.4	Porcentaje de las lluvias intensas (caídas en episodios que alcanzaron más de 100mm/día en algún punto de la Comunidad Valenciana) frente a las totales.....	63
Figura 2.5	Perfil tipo de un dispositivo de recarga artificial (canal) en “control lateral”, en una zona regable.....	65
Figura 2.6	<i>Tabia</i> con agua embalsada tras un episodio de lluvias intensas en el sur tunecino.....	69
Figura 2.7	Comportamiento del rendimiento de la producción de trigo en Siria, en función de la cantidad del riego complementario (por <i>water harvesting</i>), bajo diferentes escenarios de precipitaciones medias anuales.....	72
Figura 2.8	Diagrama que muestra los factores que determinan la escorrentía superficial desde el área de captación y el almacenamiento de agua recolectada.....	73
Figura 2.9	Principales componentes de un sistema de recolección de agua.....	76
Figura 2.10	Aljibe para el almacenamiento de la escorrentía superficial en Agost, Alicante.....	77
Figura 2.11	<i>Mgoud</i> en pleno funcionamiento en Dkhilet Toujane, Gabes.....	79
Figura 2.12	Clasificación de las técnicas tradicionales de recolección de agua.....	82
Figura 2.13	Principales métodos de gestión de agua tradicional en Túnez.....	84
Figura 2.14	Esquema de <i>Jessour</i>	86
Figura 2.15	Esquema de un <i>qanat</i>	88
Figura 2.16	Representación 3D de una noria de hierro fundido.....	89
Figura 2.17	Mosaico mural en Testour que muestra el uso tradicional de las norias.....	90

CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS

Figura 3.1	Localización de la zona de estudio de Monteagudo del Castillo (Teruel).....	94
Figura 3.2	Mapa y corte geológico de los alrededores de Monteagudo del Castillo.....	95
Figura 3.3	Leyenda cronolitoestratigráfica de los alrededores de Monteagudo del Castillo.....	95
Figura 3.4	Distribución espacial de las temperaturas medias anuales y las precipitaciones totales medias anuales de la provincia de Teruel y diagrama de Gausson de Monteagudo.....	98
Figura 3.5	Tormentosidad de la Península Ibérica.....	99
Figura 3.6	Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de escorrentía en la cabecera del Bco. de San Cristóbal.....	102
Figura 3.7	Ejemplo de bancales con talud vegetado, en la cuenca del Bco. de San Cristóbal.....	103

Figura 3.8-A	Ejemplo de acequia recolectora a pie de ladera en la cuenca del Bco. de San Cristóbal (A);	
Figura 3.8-B	Ejemplo de acequia evacuadora, en la cuenca media del Bco. de San Cristóbal (B).....	104
Figura 3.9-A	Esquemas de ubicación en los bancales de las zanjas “a pie de bancal” (en su parte interior)	
Figura 3.9-B	(A) y de zanjas situadas en la parte exterior o frontal del bancal (B).....	104
Figura 3.10	Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de	
	escorrentía en la parte media del Bco. de San Cristóbal.....	105
Figura 3.11	Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de	
	escorrentía en el tramo bajo del Bco. de la Cañadilla.....	106
Figura 3.12	Ejemplo de zanja/acequia que puede ser utilizada para regar prados.....	107
Figura 3.13	Cerrada con prado para el ganado con derrame de los sobrantes de los bancales superiores en	
	el tramo final del Bco. de la Cañadilla.....	109
Figura 3.14	Esquema hidrogeológico de la fuente del Mas de Cipriano.....	109
Figura 3.15	Ejemplo de prado situado aguas abajo de cauce “lateralizado”.....	110
Figura 3.16	Ejemplo de balsa asociada a una acequia de derivación de escorrentía en el tramo final del	
	Barranco de la Cañadilla.....	111
Figura 3.17	Localización del área de estudio del Bco. de Cabrera (Segorbe).....	112
Figura 3.18	Mapa geológico de la cuenca del barranco de Cabrera.....	114
Figura 3.19	Mapa de pendientes de la cuenca de estudio en grados. A- Zonas llanas. B- Glacis y	
	pie demontes. C- Laderas. D- Cantiles y paredes.....	115
Figura 3.20	Fotografía aérea de la cuenca del Barranco de Cabrera del vuelo “americano” (14 de mayo de	
	1956).....	116
Figura 3.21	Régimen térmico anual de la estación Segorbe-HS.....	118
Figura 3.22	Diagrama de Gaussen para la estación de Segorbe-HS.....	118
Figura 3.23	Distribución espacial de la precipitación máxima en 24h en un periodo de recurrencia de 10	
	años, según el método de Gumbel.....	118
Figura 3.24	Red hidrográfica y sistemas antrópicos de drenaje en el Bco. de Cabrera.....	120
Figura 3.25	Mapa del sistema Viveros.....	122
Figura 3.26	Perfiles en diferentes puntos de las acequias.....	123
Figura 3.27-A	A-Salto curvo, que recoge la escorrentía de toda la parte superior de la cuenca y la concentra	
Figura 3.27-B	en la acequia; B-Salto recto, en el tramo final del sistema Viveros.....	124
Figura 3.28-A	A-Salto en el punto de contacto de la acequia con el Barranco de Cabrera; B-Desagüe en una	
Figura 3.27-B	pared, en un punto donde se concentran flujos de agua en la superficie del bancal.....	125
Figura 3.29	Mapa del sistema Tornero.....	126
Figura 3.30	Esquina de bancal reforzada, en la parte baja del sistema Valero.....	127
Figura 3.31	Mapa del sistema Valero.....	128
Figura 3.32-A	Sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía. A-El camino que conduce el agua; B-El	
Figura 3.32-B	depósito de agua.....	129
Figura 3.33	Mapa del sistema Cabrera1.....	130
Figura 3.34-A	Sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía: A-Cúpula que cubre el depósito de agua;	
Figura 3.34-B	B-Croquis del depósito.....	131
Figura 3.35	Mapa del sistema Cabrera2.....	132
Figura 3.36	Vista general de los sistemas de Portapán.....	133
Figura 3.37	Cabecera del sistema Portapán2.....	134
Figura 3.38	Mapa de los sistemas de Portapán.....	135
Figura 3.39	Diferentes tipos de bancales.....	136
Figura 3.40-A	A-Bancal recto; B-Bancal lenticular en una de las vaguadas del sistema Tornero.....	137
Figura 3.40-B		
Figura 3.41-A	A-Pared-talud protegido con piedras sólo en su parte superior; B-Esquina de bancal reforzada,	
Figura 3.41-B	en el sistema Viveros.....	138
Figura 3.42-A	A-Acequia recolectora, situada al pie de un bancal. Sigue la curva de nivel hasta confluir con	
Figura 3.42-B	la acequia evacuadora del sistema; B-Acequia evacuadora ancha en el sistema de Tornero;	
Figura 3.42-C	C-Acequia de borde de camino.....	140
Figura 3.43-A	A-Pared que se sobreeleva sobre la superficie del bancal; B-Pared en la que se han dispuesto	
Figura 3.43-B	desagües.....	141
Figura 3.44-A	Planta (A) y perfil (B) de los principales elementos del sistema <i>meskat</i>	143
Figura 3.44-B		
Figura 3.45	Aliviadero (<i>manfas</i>) en un sistema de <i>meskat</i> en Oued el Hammam.....	145
Figura 3.46-A	Un sistema de <i>meskat</i> en Oued el Hammam.....	146
Figura 3.46-B		
Figura 3.47	Localización de la cuenca de Oued el Hammam.....	149

Figura 3.48	Geología de la región de Sousse y alrededores.....	150
Figura 3.49	Progreso por erosión remontante de la cabecera de una cárcava en un valle de fondo plano ocupado por <i>meskat</i>	152
Figura 3.50	Diagrama de Gaussen para la estación forestal de Sousse.....	153
Figura 3.51	Variación de los porcentajes de uso de suelo en la cuenca del Oued el Hammam.....	155
Figura 3.52	Ubicación espacial de los 20 puntos seleccionados para tratamiento cartográfico de sectores con sistemas de <i>meskat</i> en la cuenca del Oued el Hammam.....	156
Figura 3.53	Presencia del <i>meskat</i> en la cuenca de Oued el Hammam y su mapa de calor.....	159
Figura 3.54	Ejemplo de cartografía detallada de sector de <i>meskat</i> en vaguada “Shabit al-Tlalma”.....	160
Figura 3.55	Ejemplo de cartografía detallada de sector de <i>meskat</i> en glacis “Hanshir Ghánib”.....	161
Figura 3.56	Histogramas de frecuencia de las pendientes del cultivo y del erial en diferentes sectores estudiados con sistemas de <i>meskat</i> en la cuenca del Oued el Hammam.....	164

CAPÍTULO 4: SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA EN FONDOS DE VALLE

Figura 4.1	Vista panorámica cenital del paisaje agrario de fondos de valle en los cuatro sectores seleccionados.....	169
Figura 4.2	Sección transversal en un <i>jesser</i>	172
Figura 4.3	Posibles disposiciones de los aliviaderos en el sistema <i>jessour</i>	172
Figura 4.4	Esquema geológico regional en la zona de estudio de Valmadrid (Zaragoza).....	176
Figura 4.5	Contexto geológico de la cuenca de la Val de Huerva, en Valmadrid.....	178
Figura 4.6	Diagrama ombrotérmico de Gaussen de la localidad de Valmadrid.....	180
Figura 4.7	Localización y red hidrográfica de la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	182
Figura 4.8	Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	183
Figura 4.9	Panorámica general de la cabecera de la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	185
Figura 4.10	Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	185
Figura 4.11	Detalle de banal de cereal en la Val de Huerva.....	186
Figura 4.12	Detalle de talud reforzado con bloques de yesos en un banal con desagüe frontal.....	187
Figura 4.13	Mapa geológico de la Cordillera Bética centro-oriental.....	189
Figura 4.14	Esquema geológico regional en la zona de estudio de Albánchez (Almería).....	190
Figura 4.15	Contexto geológico de la cuenca del Bco. de la Palmera (Almería).....	190
Figura 4.16	Diagrama ombrotérmico de Gaussen de la localidad de Albánchez.....	192
Figura 4.17	Localización y red hidrográfica de la cuenca del Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería).....	194
Figura 4.18	Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).....	196
Figura 4.19	Sistemas de cultivo de fondo de valle en el Bco. del Acebuchar (Cantoria, Almería).....	197
Figura 4.20	Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería).....	198
Figura 4.21	Banal de olivos con pared de piedra en cultivos de fondo de valle (Albánchez, Almería).....	199
Figura 4.22	Detalles de degradación en el Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería).....	201
Figura 4.23	Uso turístico de las casas-cueva en la antigua ciudad de Matmata.....	202
Figura 4.24	Mapa estructural del sector central de Túnez.....	203
Figura 4.25	Mapa geológico general de la región entre Matmata y Koutine.....	204
Figura 4.26	Mapa geológico de la cuenca de Oued el Haddej (Matmata, Gabes).....	205
Figura 4.27	Perfiles topográficos que muestran la disimetría en el sector N de Dahar-Jeffara.....	207
Figura 4.28	Morfología monocinal del Dahar, afectada por un modelado cárstico.....	208
Figura 4.29	Diagrama ombrotérmico de Gaussen de la localidad de Matmata.....	209
Figura 4.30	Regiones climáticas de Túnez.....	210
Figura 4.31	Localización y red hidrográfica de la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).....	212
Figura 4.32	Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).....	213
Figura 4.33	Panorámica general de la cuenca de Oued el Haddej (Matmata, Gabes).....	214
Figura 4.34	Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).....	215
Figura 4.35-A	A- El pastoreo como una actividad que se mantiene y B- Banal de tierra sin reforzar (Matmata, Gabes).....	216
Figura 4.35-B		

Figura 4.36	Mapa geológico de la cuenca de Oued Chaoua (Koutine, Medenine).....	219
Figura 4.37	Diagrama ombrotérmico de Gausсен de la localidad de Koutine.....	220
Figura 4.38	Diferentes situaciones sinópticas correspondientes a dos episodios de lluvias intensas en Koutine en Medenine y Matmata en Gabes.....	221
Figura 4.39	Localización y red topográfica de la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).....	222
Figura 4.40	Esquema de <i>jessour</i> modélico.....	224
Figura 4.41	Vista de una <i>tabia</i> con aportes de escorrentía lateral (Medenine, Túnez).....	224
Figura 4.42	Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).....	225
Figura 4.43	Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).....	226
Figura 4.44	Bancal con agua retenida (Medenine, Túnez).....	227
Figura 4.45	<i>Manfas</i> reforzado en una <i>tabia</i> en Medenine.....	229

CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍA CONCENTRADA

Figura 5.1-A	Los principales tipos de diques A) Transversal y B) Malecón.....	224
Figura 5.1-B		
Figura 5.2	Esquema morfoestructural del valle del Guadalentín y Bajo Segura, y alrededores.....	240
Figura 5.3	Red de acequias de los boquerones de Tiata y Marchena, en el cono de deyección del Guadalentín, en Lorca (Murcia).....	242
Figura 5.4	Compuertas actuales de los sangradores en el punto de arranque de la Rambla de Tiata.....	243
Figura 5.5-A	A- La bifurcación de la Rambla de Tiata entre el canal de los brazales de las Zahurdas, del Pozo o la Cuadrilla (izquierda) y el canal de los de Enmedio, Cañaveral, Nuevo, etc. (derecha).	
Figura 5.5-B	B- Bifurcación entre la Acequia de Enmedio (derecha), y las de Cañaveral y Canal Nuevo	
Figura 5.5-C	(izquierda). C- Acequia de Cañaveral, con márgenes sobreelevados de tierra. D- Tajadera en la	
Figura 5.5-D	Acequia de Cañaveral.....	244
Figura 5.6	Esquema geomorfológico de la boquera de la Tiñosa.....	245
Figura 5.7	Esquema geomorfológico de la boquera de Guadalupe.....	246
Figura 5.8	Azud de Guadalupe en el barranco del Zoco o Cabezo Blanco.....	247
Figura 5.9	Restos del tapial que salva el desnivel entre la Rambla de Puerto de Garruchal y el canal principal de la boquera de Tiñosa.....	247
Figura 5.10	Bifurcación en la acequia principal del sistema de boqueras de Tiñosa.....	248
Figura 5.11	Situación sinóptica correspondiente al episodio de lluvias más intenso (Gafsa).....	249
Figura 5.12	Contexto geológico de los <i>djebels</i> de Chemsí y Belkhir, y del piedemonte (Belkhir).....	250
Figura 5.13	Esquema estructural del pliegue cretácico del Dj. Chemsí, con la capa de despegue triásica y su sistema de fallas inversa.....	251
Figura 5.14	Esquema geomorfológico del piedemonte de los Dj. Chemsí y Belkhir.....	252
Figura 5.15	Ejemplos de organización de los <i>mgoud</i> en tres sectores del sistema: A- Sector de boqueras con tomas de agua desde el cauce, conducida por acequias; B- Parte superior del tramo bajo, con tomas directas desde el cauce C- Parte inferior del tramo bajo, con tomas desde un camino o uso directo en la zona de derrame del cauce principal.....	253
Figura 5.16	<i>Maglab</i> de Ouled el Haj el Soui. Obsérvese la pared de nivelación en el centro del <i>oued</i> y el <i>maglab</i> en la margen derecha, de tipo “malecón”.....	254
Figura 5.17	Entrada del <i>mgoud</i> de Belgasem Ben Ali en los campos de olivo.....	254
Figura 5.18	Sangrador o <i>manfas</i> en el <i>mgoud</i> de Ouled el Haj de Belkhir en Gafsa.....	255
Figura 5.19	Esquema geomorfológico de las boqueras de Bhira en Benikhdech- Medenine, Túnez.....	258
Figura 5.20	Cartografía detallada de usos del suelo de los sectores A, B y C de los <i>mgoud</i> de Bhira, en Benikhdech- Medenine.....	259
Figura 5.21	Esquema geomorfológico de los <i>mgoud</i> del Oued Ahimeur y otros, en Benikhdech- Medenine.....	260
Figura 5.22	Campesino durante una entrevista improvisada mientras realizaba las tareas agrícolas en su parcela, en uno de los <i>mgoud</i> de Ahimeur.....	261
Figura 5.23	<i>Manfas</i> (rebosadero reforzado) para el retorno de los sobrantes de agua al <i>oued</i> , en uno de los <i>mgoud</i> de Ahimeur.....	261
Figura 5.24	Esquema geomorfológico del sector de <i>mgoud</i> del Oued Ouarifene, en Mareth.....	262
Figura 5.25	Cartografía detallada de usos del suelo del sector de <i>mgoud</i> de Ouarifene en Mareth.....	264
Figura 5.26	Canal de entrada de un <i>mgoud</i> del sector de Ouarifene.....	264
Figura 5.27	<i>Mogud</i> con un <i>manfas</i> reforzado con piedras.....	264
Figura 5.28	Mapa de la precipitación diaria decenal en Túnez.....	266

Figura 5.29	Frecuencias mensuales de las precipitaciones diarias superiores a 10 mm/día y 30 mm/día en Matmata (1979-2014).....	268
Figura 5.30	Diferentes tipos de situaciones sinópticas correspondientes a tres episodios de lluvias de intensidades moderadas en Matmata.....	268
Figura 5.31	Diagrama ombrotérmico de Gausson para las estaciones de Agost “Escola”, Alacant “Ciutat Jardí”, Xixona y Monóver “l’Esvarador”.....	270
Figura 5.32	Frecuencias mensuales de las precipitaciones diarias superiores a 10 mm/día y 30 mm/día cerca de Agost (1979-2014).....	271
Figura 5.33	Mapa geomorfológico del sector de las tres boqueras de la Masía de la Tosca, en la Rambla de Busot.....	273
Figura 5.34	Paraje de la presa de la Revuelta.....	274
Figura 5.35	Mapa geomorfológico del sector de boqueras de la Revuelta, en el Bc. Blanc.....	275
Figura 5.36	Meandro abandonado en el Bc. Blanc, en Agost.....	276
Figura 5.37-A	A- La presa de la Revuelta, en el antiguo trazado del Bc. Blanc, en Agost. B- Entrada del túnel por donde discurre el actual curso del Bc. Blanc.....	277
Figura 5.38	Croquis a mano, a partir del vuelo de 1956, de las obras hidráulicas tradicionales en el barranco del Salt, en el paraje de Els Fontanars de Palomarets.....	278
Figura 5.39-A	A- <i>Parat</i> desde el que parten las dos boqueras de los sistemas del Salt o de Fontanars dels Palomarets, en Petrer; B- Cauce de la “boquera de dalt” (la occidental).....	279
Figura 5.40	Imagen de la fotografía aérea del “vuelo americano” en la que se muestra la ubicación del <i>parat</i> de Fontcalent y el área de laminación del agua mediante boqueras secundarias.....	280
Figura 5.41	<i>Parat</i> de Fontcalent.....	280

CAPÍTULO 6. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS

Figura 6.1	Distribución de las galerías drenantes según las precipitaciones anuales medias en SE español y Túnez.....	289
Figura 6.2	Localización de las galerías drenantes en el Levante español y Túnez.....	293
Figura 6.3	Geología del Túnez central, con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subálveas.....	295
Figura 6.4	Localización de las galerías estudiadas en relación con las precipitaciones máximas diarias para periodos de recurrencia de 2 y 5 años.....	297
Figura 6.5	Cauce del Oued Shrishira, en el área de captación de Ain Shrishira.....	297
Figura 6.6	Cauce del Oued Kharroub.....	298
Figura 6.7	Geología del SE español (1), con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subálveas (2).....	301
Figura 6.8	Emplazamiento de las galerías subálveas estudiadas en el mapa del “Índice de torrencialidad” de las lluvias”.....	302
Figura 6.9	Bocamina de la Zanja de la Huerta de Judas.....	303
Figura 6.10	Cauce amplio y pedregoso del barranco de Albánchez.....	304
Figura 6.11	Lumbreras en el lecho del oued Sbeitla.....	305
Figura 6.12	Interior de la galería de Oued Bou Haya.....	308
Figura 6.13	Mapa de Ain Oued el Kiss junto al sistema de regadío que abastece.....	311
Figura 6.14	Abrevadero e inicio del sistema de riego de la Zanja del Burro o de los Corella.....	312
Figura 6.15	Bocamina de la Fuente de Toribia.....	312
Figura 6.16	Bocamina actual e inicio de la red de acequias en la Zanja del Gadil.....	312
Figura 6.17	Mapa de la Zanja del Gadil, junto con sistema de regadío al que abastece.....	317
Figura 6.18	Distribución espacial de norias en los meandros y terrazas fluviales del Mdjerda de los alrededores de Testour.....	322
Figura 6.19	Contexto geológico de la zona de estudio.....	324
Figura 6.20	Esquema morfogénico de las terrazas fluviales del Mdjerda en la zona de Testour y ejemplo de corte geológico.....	325
Figura 6.21	Terrazas fluviales del Mdjerda en los alrededores de la estación de bombeo.....	325
Figura 6.22	Diagrama ombrotérmico de Gausson de la localidad de Testour.....	327
Figura 6.23	Coefficientes mensuales de escorrentía del Mdjerda en los afloros de Bou Salem y de Medjez el Bab.....	327
Figura 6.24	Distribución espacial según altura de las norias identificadas en Testour.....	329
Figura 6.25-A	A- Interior de una perforación donde había una noria; obsérvese la forma circular del pozo, el revestimiento de las paredes y los dos arcos paralelos que formaban la base de la noria.	
Figura 6.25-B	B- Balsa de acopio, con su decantador, por donde pasa la acequia que lleva el agua desde la noria. C- Arcaduz de barro cocido encontrado en el fondo de un pozo abandonado. D- Pila abrevadero.....	330

Figura 6.26	Trazado estructural del Xúquer en su tramo bajo.....	333
Figura 6.27	Recorte del mapa geomorfológico de la Ribera Alta.....	334
Figura 6.28	Diagrama de Gausson para la estación de Alzira.....	336
Figura 6.29	Coefficientes mensuales de esorrentía del Xúquer en los aforos de Los Frailes.....	336
Figura 6.30	Afección de los bombeos en La Mancha sobre los caudales del río Júcar.....	336
Figura 6.31	Recorte del Plan topográfico de Atanasio León, 1773.....	338
Figura 6.32	La red de regadío de la Séquia Reial del Xúquer en Alzira y la Reial Séquia de Carcaixent.....	339
Figura 6.33-A	A- Noria de hierro fundido ubicada en el Huerto de Casa de la Boquera. B- Balsa y era con	
Figura 6.33-B	las escaleras de la noria de Casa de Agustín, en el Camí de Bernabé, en Alzira. C- Balsa de la	
Figura 6.33-C	Noria de Casa de Blanc, en Carcaixent. Obsérvese la losa de lavar fijada en el lado de la balsa	
Figura 6.33-D	más próximo a la vivienda. D- Pozo y resto de la estructura que sostenía la noria de la Casa de	
	Noguera.....	340
Figura 6.34	A- Interior de un pozo de la noria de Casa de Boquera en Alzira. B- Balsa y chimenea de la	
	noria de Casa de Cogollos, en Carcaixent.....	341

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS

Tabla 3.1	Observatorios y parámetros generales de precipitación en la zona del Bco. de Cabrera.....	117
Tabla 3.2	Distribución del sistema <i>meskat</i> en la región de Sousse.....	146
Tabla 3.3	Porcentaje y km ² de presencia de la cuenca del Oued el Hammam en diferentes delegaciones de la gobernación de Sousse.....	148
Tabla 3.4	Presencia del <i>meskat</i> y otros usos del suelo en la cuenca del Oued el Hammam, a partir de un muestreo aleatorio de 500 puntos.....	155
Tabla 3.5	Porcentaje de usos de suelo agrícolas en la cuenca del Oued el Hammam.....	156
Tabla 3.6	Resultados de la cartografía detallada de los sectores seleccionados de <i>meskat</i> en la cuenca del Oued el Hammam en cuanto a extensión, topografía, y ratios <i>impluvium/cultivo</i>	157
Tabla 3.7	Aproximación a la ratio entre la zona de captación y la de cultivo en el sistema <i>meskat</i> de Oued el Hammam.....	159
Tabla 3.8	Distribución porcentual de los diferentes tipos de erial <i>meskat</i>	163

CAPÍTULO 4: SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA EN FONDOS DE VALLE

Tabla 4.1	Parámetros calculados para las cuencas estudiadas.....	175
Tabla 4.2	Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje de la Val de Huerva (Valmadrid).....	181
Tabla 4.3	Superficie cultivada en la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	184
Tabla 4.4	Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).....	186
Tabla 4.5	Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).....	195
Tabla 4.6	Superficie cultivada en la cuenca del Barranco de la Palmera (Albánchez).....	197
Tabla 4.7	Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del barranco de la Palmera (Albánchez).....	200
Tabla 4.8	Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del Oued el Haddej (Matmata).....	211
Tabla 4.9	Superficie cultivada en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata).....	214
Tabla 4.10	Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del Oued el Haddej (Matmata).....	215
Tabla 4.11	Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del Oued Chaaoua (Koutine).....	223
Tabla 4.12	Superficie cultivada en la cuenca del Oued Chaaoua (Koutine).....	223
Tabla 4.13	Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del Oued Chaaoua (Koutine).....	227

CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍA CONCENTRADA

Tabla 5.1	Superficies regadas por los <i>mgoud</i> en las zonas estudiadas.....	257
------------------	---	-----

CAPÍTULO 6. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS

Tabla 6.1	Relación de las galerías analizadas en Túnez.....	289
Tabla 6.2	Relación de las galerías analizadas en el SE español.....	290
Tabla 6.3	Características ambientales de las galerías estudiadas en Túnez.....	298
Tabla 6.4	Características ambientales de las galerías estudiadas en el Sureste español.....	306
Tabla 6.5	Características constructivas de las galerías estudiadas en Túnez.....	309
Tabla 6.6	Características constructivas de las galerías estudiadas en el sureste español.....	314

1. CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN



*Vista nocturna de satélite de la
cuenca del Mediterráneo*

1. CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. EL TEMA ELEGIDO

Este trabajo se centra en la comparación de la gestión tradicional del agua en dos sectores mediterráneos: El SE y levante español y la franja central de Túnez. Se trata de tierras con elementos naturales más o menos comunes, pero con elementos históricos y culturales bastante dispares.

El principal elemento común es su clima mediterráneo. Se han elegido dos sectores que acentúan esta semejanza, pues ambos pertenecen a lo que se podría denominar “estepa cálida mediterránea” (aunque los diferentes ejemplos analizados llegan a superar en alguna medida este marco climático y llegan a tener características entre subhúmedo y árido). Aun así, no todos los elementos del clima son del todo semejantes: la torrencialidad de las lluvias, por ejemplo, es bastante diferente, más acentuada en el Levante español y menos en Túnez.

El principal elemento dispar es la historia y la cultura, musulmana y cristiana, aunque con un tronco histórico común entre los siglos VIII y XIII-XIV, que determinan herencias musulmanas en tierras de la Península Ibérica. Podría pensarse que las soluciones a los mismos problemas de gestión del agua pueden llegar a ser diferentes por estos factores históricos y culturales.

El tema elegido se centra justamente en esta cuestión: a- en qué medida existen diferencias o semejanzas cuando se pretende resolver los problemas que ocasiona la gestión tradicional del agua en estos ambientes semiáridos mediterráneos y b- en qué medida las diferentes soluciones están condicionadas por los factores ambientales o por los culturales.

En este tipo de ambientes, el ser humano se ha enfrentado a los mismos problemas y ha tenido que idear soluciones. Por una parte, la escasez de agua, más o menos acusada en general, pero siempre presente en el seco verano mediterráneo. Por otra, la siempre presente agresividad de las lluvias mediterráneas, otra de las características más notables de este clima.

La gestión del agua como riesgo es diferente a su gestión como recurso y, en ocasiones, las diferentes técnicas empleadas tienen que coexistir. Ello da lugar a soluciones muy variadas e imaginativas, que van desde la misma elección de los cultivos más apropiados, a las técnicas de labranza, a todo tipo de modificaciones de la escorrentía superficial, hasta la captación de aguas subterráneas. En este trabajo nos centraremos básicamente en técnicas tradicionales complejas de modificación y uso

de escorrentías superficiales, o de captación y uso de aguas subterráneas, desde esa doble concepción del agua como riesgo o recurso.

1.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La idea inicial del proyecto de tesis doctoral fue realizar una comparación entre las técnicas tradicionales de gestión del agua de lluvia en cuatro puntos cardinales del Mediterráneo: Siria, Italia, Túnez y España. Los sectores elegidos tenían en común que presentaban *transects* climáticos relativamente rápidos desde condiciones subhúmedas hasta semiáridas y áridas. En Siria se quería estudiar el tránsito climático entre las condiciones subhúmedas de las estribaciones sirias al Sur de los montes Nur (también llamadas “Amanus” en fuentes en castellano), hasta las condiciones casi áridas de los alrededores de Alepo, ciudad natal del doctorando. En Italia, desde las condiciones húmedas y subhúmedas de la montaña calabresa hasta las tierras semiáridas de la Puglia. En Túnez, desde las condiciones subhúmedas del S del macizo de Medjerda hasta las semiáridas del piedemonte de Sousse. Y en España, desde las montañas subhúmedas del N de Alicante hasta las tierras semiáridas de Murcia y Almería.

Desde este primer planteamiento se pensó aprovechar ya una de las fortalezas fundamentales del proyecto: el dominio de la lengua árabe por parte del doctorando, y la capacidad de comprender los elementos culturales que podían estar presentes en las diferentes soluciones adoptadas para unos mismos problemas. Uno de los objetivos iniciales del estudio comparado que se planteaba era, precisamente, discriminar entre los factores naturales y los culturales.

El conflicto bélico en Siria hizo imposible este planteamiento, y obligó a replantear los espacios a analizar, que finalmente se han reducido a España y Túnez. Paralelamente, desde 2010, en el contexto de proyectos de cooperación internacional, en el equipo de investigación ESTEPA, de la Universitat de València, el doctorando pudo contar con financiación para realizar trabajo de campo en Túnez, además de acceso directo a la documentación manejada en esos proyectos (mapas topográficos, geológicos, experiencias de gestión de aguas...). El objetivo y los resultados de esta investigación, en la que se participó entre 2010 y 2014, se centró en las minas de agua (*foggaras*) y en los regadíos derivados del agua extraída (en el caso de las *foggaras* funcionales). Pero el campo y los contactos que se derivaron de estos estudios, permitieron al doctorando tomar conocimiento de buena parte de la rica variedad de los sistemas tunecinos de gestión tradicional del agua.

En el seno de ese equipo de trabajo, y gracias a algunos de los resultados de investigación, el doctorando pudo constatar algunas de las hipótesis previas de su planteamiento inicial: la existencia de muchos elementos en común en las técnicas empleadas para la solución de los mismos problemas y la existencia de diferencias, justificables por factores de diversa índole: ambientales, sociales, tecnológicos, históricos, etc. No quedó tan claro, sin embargo, el papel jugado por los factores

culturales. Entre otras aportaciones, uno de los principales estudios realizados fue un análisis comparado entre las *foggaras* españolas y tunecinas (factores de localización, funcionalidad, estado de conservación, tipologías constructivas, gestión del agua, etc.) (Fansa, Antequera y Hermosilla, 2017). Este artículo, basado en la totalidad del trabajo previo y concretado a partir de 2015, sirvió para fijar y corroborar muchas de las hipótesis de partida de la tesis doctoral.

En definitiva, la **justificación** del proyecto de tesis doctoral hay que buscarla en dos fortalezas: una preexistente, el dominio de la lengua árabe por parte del doctorando y su capacidad de comprensión de esta cultura, y otra sobrevenida, la posibilidad de obtener financiación y resultados de investigación desde convenios de cooperación internacional con Túnez, en los que el doctorando fue miembro del equipo que los llevó a cabo.

Sin embargo, no podemos dejar de citar otras justificaciones igualmente importantes: la riquísima variedad e ingenio de las soluciones adoptadas en el tema de la gestión tradicional del agua, su alto valor cultural, su carácter “ecológico”, en el sentido de que son siempre sabias adaptaciones al medio natural, incluso su potencial valor ante la creciente penuria hídrica de los ambientes mediterráneos ante el cambio global y el aumento reciente de las temperaturas. Finalmente, una justificación más del planteamiento del trabajo fue constatar en la revisión bibliográfica la casi nula existencia de estudios comparados, frente a la relativa abundancia de estudios de tipologías de soluciones, de contextos ambientales, de estados de conservación, etc. Pensamos que la primera fortaleza indicada aumentaba así su valor. Era una oportunidad que no podía desaprovecharse.

En síntesis, pues, el **objetivo general** de la tesis doctoral es realizar un estudio comparado de los sistemas de gestión tradicional del agua en el Levante español y en el Túnez semiárido, para valorar el peso de los factores ambientales frente a otros, como los culturales, históricos, etc.

En primer lugar, se ha querido atender a los sistemas de gestión directa del agua de lluvia, pero también se ha incorporado otros sistemas tradicionales de aprovechamiento de aguas subterráneas poco profundas. Esta extensión temática es debida a que, en el devenir desde la idea inicial hasta el planteamiento definitivo, en parte, era una exigencia derivada de la reducción a la mitad de los espacios considerados. En su solución, el principal cambio operado fue la posibilidad, oportunidad o necesidad de una ampliación de los temas concretos a analizar (aunque supusieran un cambio en el título del proyecto).

En esta revisión de los objetivos del trabajo se consideró que:

- La reducción del ámbito climático no era preocupante. Se pasaba de dos modalidades de clima mediterráneo (la “provenzal” y la “helena” de Viers, 1968) a

una, la “provenzal” (el denominado clima “portugués” de De Martonne, 1909). La principal pérdida se producía en el rango de intensidades de las precipitaciones, muy baja en Siria y muy alta en el SE español. Pero Túnez presenta unos rasgos intermedios en estos parámetros, de modo que la comparación seguía siendo posible. Además, en cierto modo podía pensarse que la excesiva divergencia en el conjunto de los parámetros climáticos quizá llegara a ser perjudicial, pues dificultaba el proceso de aislar los factores. En este sentido, un clima más parecido, el de la cubeta occidental del mediterráneo (aunque en Túnez ya en tránsito hacia la cubeta central, de clima “heleno”) podía ser beneficioso. Incluso, el carácter de transición de Túnez entre las dos modalidades de clima mediterráneo, común a la del espacio de análisis pensado inicialmente para el Sur de Italia, facilitaba esta reducción del espacio analizado sin perder los elementos esenciales.

- La reducción del ámbito geológico tampoco se consideró excesivamente inconveniente: no se perdía el carácter alpino, las litologías básicamente calcáreas, las cronologías mesozoicas y cenozoicas, los tipos de relieve, etc. Se reducían algo las tipologías litológicas y las características geológicas locales de cada caso estudiado, pero ello podía ser beneficioso, por la misma razón de facilitar el proceso analítico de reducción y aislamiento de variables, esgrimido anteriormente.
- La pérdida fundamental, al menos *a priori*, radicaba en que se redujera la variedad de temas, tipologías o soluciones adoptadas, si se atendía exclusivamente a la “gestión tradicional del agua de lluvia”, en otras palabras, a la gestión del agua en secanos semiáridos. Esto nos llevó a plantear dentro de los **objetivos** el tema de la gestión del agua conseguida mediante minas o pozos. También se ha querido conservar la faceta de riesgo, además de la de recurso, en las aguas pluviales, no tanto porque necesiten de técnicas específicas, sino porque se dan situaciones simultáneas de riesgo/recurso muy interesantes en un mismo lugar. Y finalmente, otra ampliación en los objetivos ha sido considerar espacios marginales de carácter subhúmedo o árido, y no centrarse exclusivamente en los sectores semiáridos, es decir, ampliar el rango climático.

Los **objetivos concretos** de este trabajo de análisis comparado de las técnicas tradicionales de captación y gestión de las aguas de lluvia, lo que se conoce en la bibliografía internacional como *Water Harvesting*, se centran en:

- Revisión de las diferentes clasificaciones empleadas y propuesta de una clasificación uniforme para las técnicas más extendidas en ambos espacios.
- En cada ejemplo de sistema o técnica, descripción de los elementos que lo componen, su organización o estructuración y su funcionamiento. También valoraremos el grado de adaptación a los condicionantes ambientales.
- En el SE español, análisis de los sistemas antrópicos de derivación de las aguas de escorrentía y los cauces antropizados, es decir, los sistemas de terrazas y bancales en

ladera. También los sistemas de aprovechamiento de los fondos de valle “cañadas”, las boqueras y los sistemas de aprovechamiento de las aguas subálveas o subterráneas poco profundas, representados por las galerías drenantes y las norias (con aguas de origen subálveas y/o detríticas aluviales cuaternarias). En Túnez tratamos el sistema *meskat*, los *jessour*, los *mgoud*, así como las *foggaras* y las *nauair* (plural de *nā'ūrah*).

- Se pretende potenciar un análisis cartográfico y, en la medida de lo posible, cuantitativo, no tanto como demostración o prueba de las hipótesis planteadas, sino como un elemento descriptivo del análisis, así como de apoyo de la investigación.
- En cada uno de los temas tratados, al final, valoración del peso de los factores ambientales frente a otros posibles condicionantes. Al final del trabajo se pretende tener una visión global de esta cuestión que permita confirmar las hipótesis de partida.
- El *water harvesting* es un conjunto de técnicas y estrategias para solucionar un problema de índole básicamente geográfica, la adaptación del hombre al medio. Aquí, se pretende obtener del estudio de cada caso una visión completa, tanto de la obtención de un recurso, como de la lucha contra el riesgo.

1.3. CONTEXTO GEOGRÁFICO GENERAL

En este apartado se pretende trazar unos rasgos generales de varios elementos del medio físico de los dos espacios comparados. Nos centraremos principalmente en los aspectos climáticos, y en segundo lugar en los geológicos. Se apuntarán otros aspectos, como los hidrológicos o los biogeográficos, pero entendemos que se trata de aspectos menos importantes, salvo en alguno de los casos estudiados (*vgr.* las captaciones de aguas subálveas mediante galerías). Aquí sólo se pretende analizar los grandes rasgos comunes o dispares de estos grandes espacios pues, en cada uno de los casos estudiados, se abordarán con mucho más detalle, a escala local, estos elementos.

Se han elegido dos sectores de España y de Túnez que presentan elementos comunes en su marco físico. El principal elemento común es el clima de carácter mediterráneo semiárido, con precipitaciones entre los 250 y 400mm. Los casos estudiados no se restringen a esta horquilla pluviométrica, pues se consideran casos del S de Túnez con precipitaciones inferiores a 200mm (por ejemplo, el sistema de *jessour* en los alrededores de Matmata), frente a otros que pueden acercarse a 450mm y presentar condiciones cercanas al mediterráneo subhúmedo (por ejemplo, los sistemas de derivación de aguas de escorrentía de Monteagudo del Castillo -Teruel-). Con todo, esta cierta uniformidad climática, tanto térmica como pluviométrica, no se da en la intensidad de las lluvias, mucho más elevada en el SE español y sobre todo en el S de Valencia.

Otro de los aspectos que presenta bastante uniformidad es el marco geológico (y todo lo que se deriva de él, sobre todo los aspectos litológicos). Ambas regiones pertenecen al sistema alpino y forman parte de un mismo gran geosinclinal, el Mar

de Tethys. Además, presentan litologías predominantemente calcáreas, margosas y arcillosas, fruto de que ambos sectores tuvieron unas condiciones paleogeográficas parecidas: zonas marinas marginales (de plataforma) o de transición, dentro del gran geosinclinal. La evolución tectónica es también semejante, pues en ambos casos se conjugan los resultados de esfuerzos compresivos poco intensos (estilos estructurales jurásicos y en menor medida alpinos) con los resultados de esfuerzos distensivos postorogénicos (cubetas neógenas).

1.3.1. El Sureste de España

La Península Ibérica es la más occidental de las cuatro grandes penínsulas del litoral norte mediterráneo. Su gran extensión y su forma compacta (sólo superada por la Península de Anatolia), hacen que presente contextos ambientales muy variados y diferentes, tanto en lo topográfico, como en lo geológico o lo climático:

- 1- Su cercanía al Océano Atlántico la convierte en zona de transición climática (de NW a SE), y en un elemento capaz de condicionar la dinámica atmosférica regional.
- 2- Su relieve articulado, su elevada altitud media y la distribución periférica de este relieve acentúan el contrastado mosaico ambiental.
- 3- Incluso su particular evolución geológica contribuye a esa gran variedad.

A- UN RELIEVE MUY ARTICULADO

La Península Ibérica es una pieza continental compacta de unos 580.000 km² de extensión. Su altitud media es de unos 600 m, debidos a la disposición sobre todo periférica del relieve y al peso orográfico de sus dos mesetas centrales. Se trata de una gran plataforma basculada hacia el W, con una divisoria de aguas Atlántico/Mediterráneo disimétrica: los ríos de la vertiente atlántica, salvo el Ebro, son más grandes y caudalosos (por la mayor influencia atlántica) que los de la vertiente mediterránea.

El punto hidrológico triple, lugar donde se unen tres cuencas hidrográficas, más importante de la península está en el enlace entre la Cordillera Ibérica y el Sistema Central, en Ambrona (Soria), cerca de Medinaceli. El Alto del Rasero (1.229) es un resto de una superficie de erosión que afecta a la Sierra Ministra y muchas más sierras ibéricas. Allí se juntan las cuencas del Ebro, Duero y Tajo. Que este modesto relieve sea el principal núcleo hidrográfico de la península destaca la importancia del Sistema Ibérico como elemento articulador del relieve y de la hidrografía.

El segundo punto hidrológico triple en importancia, el Pico de los Tres Mares (Ebro, Duero y Nansa), totalmente excéntrico a escala peninsular, muestra claramente hasta qué punto es disimétrico el relieve ibérico. El tercero, localizado en la Ermita de los Santos de la Piedra (Pozondón, Teruel), donde se unen el Ebro, el Tajo y el Turia, vuelve a estar en el Sistema Ibérico, muy cerca de uno de los principales nudos hidrológicos peninsulares, los Montes Universales.

Un perfil N-S muestra las características tan particulares del relieve peninsular (ver fig. 1.1): De N a S se pasa rápidamente del Mar Cantábrico a la submeseta N, atravesando el Sistema Cantábrico (con picos culminantes en torno a los 2.400-2.600m). La submeseta norte está ocupada casi en su totalidad por la cuenca del Duero y tiene una altitud media de unos 800m. Está separada de la submeseta sur por el Sistema Central, conjunto concatenado de sierras con altitudes culminantes ligeramente superiores a los 2.000m y con una cota máxima en el Pico Almanzor (2.592m) que es, con diferencia, el más prominente. Hacia el S, la submeseta sur, con una altitud media de unos 650m, está partida en dos cuencas (Tajo y Guadiana) por el pequeño umbral de los Montes de Toledo (con picos que apenas pasan de los 1.400m y punto culminante en Las Villuercas, 1.603m). La siguiente unidad de relieve es Sierra Morena, que es en realidad un escalón entre la meseta y el valle del Guadalquivir. Finalmente encontramos en este transecto N-S una última gran unidad de relieve, el Sistema Penibético, el más energético y elevado de todos los descritos, que culmina con el Mulhacén (3.479m).

Si hacemos un transecto NE-SW también encontramos los relieves más energéticos en la periferia. Comenzando en la Depresión de Aquitania, enseguida aparece el eje montañoso pirenaico, con muchas cumbres que superan los 3.000 m y punto culminante en el Aneto (3.404m). Hacia el S se siguen encontrando valles y depresiones interiores, como el del Ebro. Si acabamos el trayecto en la depresión del Tajo, atravesaremos el Sistema Ibérico en uno de sus puntos más anchos. Este sistema, de cumbres planas y poco elevadas, en torno a los 2.000m, es la verdadera espina dorsal del relieve peninsular, junto con el Sistema Central.

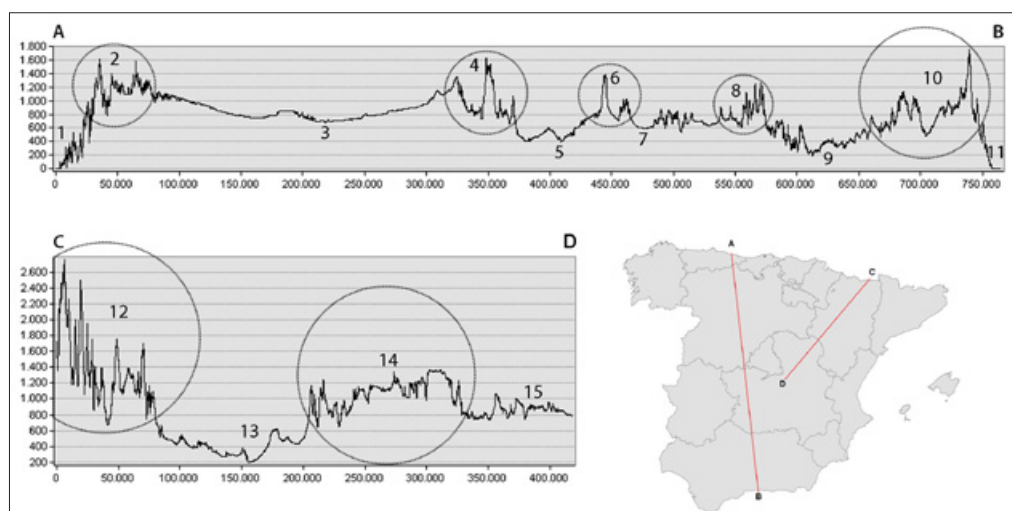


Figura 1.1: Perfiles topográficos N-S y NE-SW de la Península Ibérica con las principales unidades de relieve: 1- Mar Cantábrico. 2- Cordillera Cantábrica. 3- Depresión del Duero (Submeseta norte). 4- Sistema Central. 5- Valle del Tajo (Submeseta sur). 6- Montes de Toledo. 7- Valle del Guadiana (Submeseta sur). 8- Sierra Morena. 9- Depresión del Guadalquivir. 10- Sistemas Béticos. 11- Mar de Alborán. 12- Pirineos. 13- Depresión del Ebro. 14- Sistema Ibérico. 15- Submeseta sur.

Fuente: Elaboración propia.

B- UNA GEOLOGÍA ALPINA

Este relieve alpino es el resultado de una particular evolución orogénica, en la que la meseta ibérica, o macizo hespérico, una pieza rígida de edad paleozoica, actúa como un minicontinente separado de la subplaca europea (placa montada sobre el escudo ruso-feno-escandio). A grandes rasgos, durante la Era Mesozoica, se vive la apertura del gran geosinclinal del Mar de Tethys hacia el S (localmente entre Europa y el N de África) y del Océano Atlántico hacia el W. La pieza paleozoica queda en medio de esta doble fractura, junto con otras más pequeñas, como el macizo del Ebro y el de Aquitania. Todas estas pequeñas piezas rígidas actuarán como tope de presa para la formación del relieve alpino posterior, ya durante el Terciario (fig. 1.2).

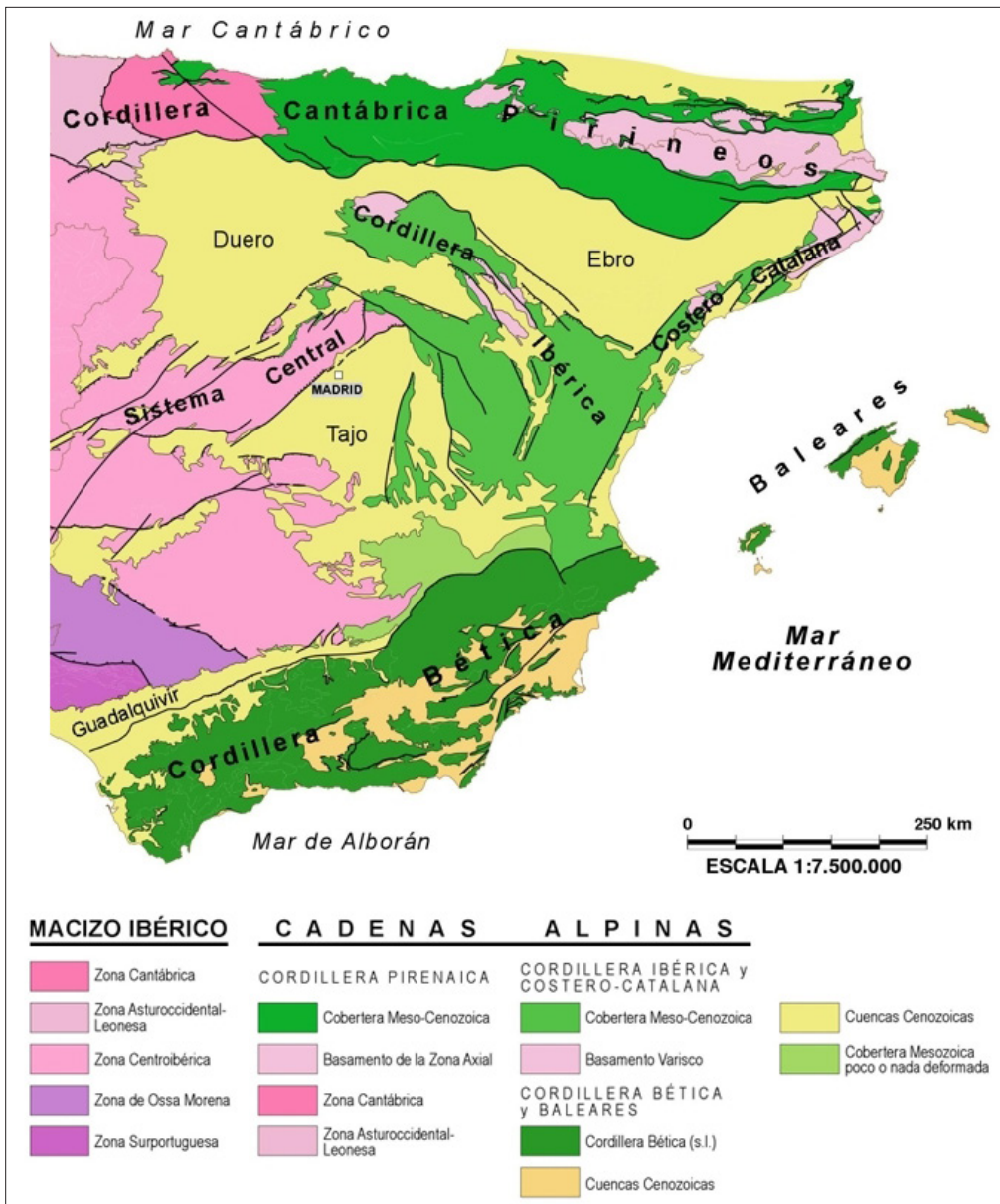


Figura 1.2: Principales unidades geológicas de España peninsular y Baleares.

Fuente: Vera (Ed.) (2004, p.13).

Las grandes etapas de esta evolución tectónica alpina se estructuran en tres grandes momentos compresivos y una gran etapa distensiva (o dos, según algunos autores). De modo muy esquemático estas etapas son:

- *Compresión eocena*, que forma el eje de los Pirineos, debido fundamentalmente a la rotación de la subplaca ibérica respecto a Irún, con apertura del Golfo de Vizcaya y compresión N-S del surco existente entre los macizos de Aquitania y del Ebro.
- *Compresión oligocena*, pre-Chatienense, que forma la Cordillera Ibérica (de dirección NW-SE), por colisión entre la placa africana y la europea en sentido NE-SW. Se comprimen los sedimentos del “aulacógeno” ibérico (Álvaro, Capote y Vegas, 1979), una conexión entre el geosinclinal de Tethys y el nuevo Atlántico, que llega a ser marina en algunos momentos del Mesozoico (como en el Cretácico superior).
- *Compresión miocena*, ocurrida básicamente en el Mioceno inferior, que forma todos los sistemas béticos, enlazando con las montañas alpinas del N de Marruecos (Rif). Produce estructuras SW-NE, debidas a un acercamiento entre África y Europa de sentido casi perpendicular al anterior.
- *“Rifting europeo”*, proceso de separación iniciado a mediados del Mioceno, hasta el Plioceno inferior, que supone la separación del sector más occidental de Europa (Islas Británicas, Francia, Península Ibérica y NW de Marruecos) del resto de Europa. Se produce a partir de una megafalla sinistral/extensional que va desde el Mar del Norte hasta Rabat-Casablanca (Sanz de Galdeano, 1990a, p.235, fig. 1.3) y produce un rosario de fosas tectónicas, vulcanismo neógeno (López Ruíz, Cebriá y Doblas, 2002) y el hundimiento con estructuras semicirculares de la costa mediterránea.

El relieve actual de la península es producto en mayor medida de estos últimos procesos distensivos que de los compresivos, en particular el de la mitad E peninsular. Pero las cubetas paleógenas y neógenas que salpican todo el territorio y que separan las grandes unidades de relieve montañoso, pueden tener una base de relleno con cualquier edad inmediatamente posterior al de la formación de los relieves circundantes. Así, la depresión del Ebro tiene conglomerados oligocenos deformados en los márgenes prepirenaicos. Las cubetas intramontanas del Sistema Ibérico suelen comenzar con conglomerados chatienenses en muchas de ellas, y las cubetas intrabéticas, además de la Depresión del Guadalquivir, suelen estar rellenas de margas miocenas marinas.

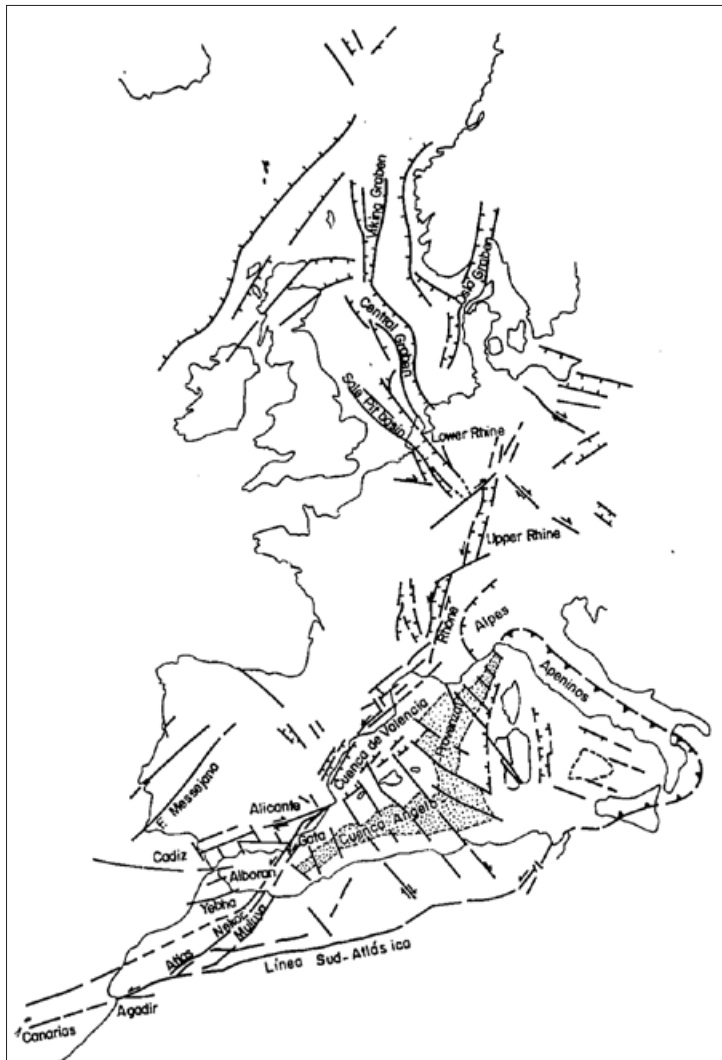


Figura 1.3: Estructuras tectónicas actuales relacionadas con el denominado "Rift Valley europeo".

Fuente: Sanz de Galdeano (1990a).

C- UN MOSAICO CLIMÁTICO MEDITERRÁNEO

Es el tercer gran factor de diversidad ambiental del territorio analizado. Simplemente utilizando un mapa de grandes tipos climáticos de Köppen-Geiger, (Atlas Climático Ibérico, 2011), están representados hasta 7 grandes tipos climáticos principales, e incluso algunos más con menor representación espacial (fig. 1.4):

Csa: Clima mediterráneo de verano cálido y seco. Es el tipo climático principal, en el sentido de que los demás tipos climáticos devienen de modificaciones térmicas y pluviométricas de este clima básico. Cuando escasean las precipitaciones tenemos los tipos esteparios (BS). Cuando bajan las temperaturas estivales tenemos los tipos Csb o incluso los D (mediterráneos de montaña). Y cuando tienen un régimen pluviométrico sin sequedad estival tenemos la modalidad Cfa.

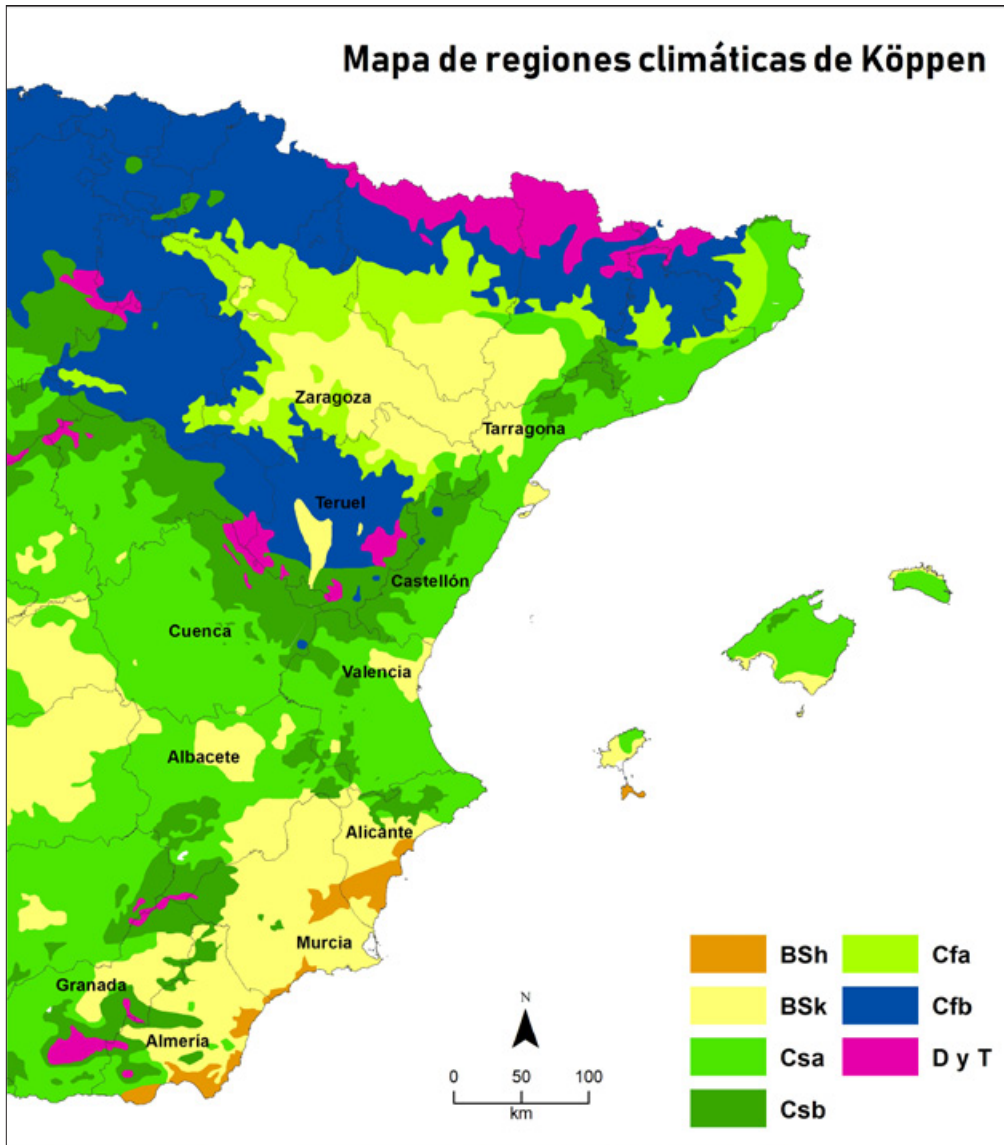


Figura 1.4: Mosaico de tipos de climas de Köppen-Geiger en la mitad oriental de la Península Ibérica, para el periodo 1981-2010.

Fuente: Elaboración propia, a partir del Atlas Climático Ibérico, 2011.

Este clima se extiende por los sectores litorales levantinos hasta altitudes a partir de unos 800 m, salvo en las cubetas intramontanas más áridas. También se localiza en sectores montañosos de las Sierras Béticas y en buena parte de La Mancha.

Csb: Es una extensión del clima anterior en la que las temperaturas estivales están modificadas por la altitud (más que por la continentalidad). Empieza a aparecer en cotas alrededor de los 800m en el norte y algo más altas en el sur (sobre los 1.000m).

Climas D: Agrupa varias modalidades de climas de Köppen (Dsb, Dsc, Dfb...), pero no se trata de verdaderos climas continentales, sino de climas mediterráneos muy modificados por la altitud, hasta el punto de tener meses invernales con temperaturas

inferiores a -3°C . Esto ocurre en alturas a partir de los 2.200-2.400m, por lo que, en sentido estricto, sólo aparecen en las altas cumbres del Pirineo y Sierra Nevada. En el sector analizado predominan los climas de transición cercanos a Ds, es decir con más lluvias en el semestre invernal. A escala global es una anomalía climática (clima “nevadiense”) que solo se da en muy pocos lugares, pues lo normal en un clima continental es que llueva todo el año o en el semestre estival. En la cartografía se han incluido estas zonas de transición, con temperaturas mínimas mensuales de invierno en torno a los 0° , dentro de este sector climático, a efectos de visualizarlos y que no queden englobados en otros tipos de climas (como los Cfb).

Climas Cfb: Clima oceánico. La modalidad realmente auténtica sería la que se da a nivel del mar en el litoral cantábrico, hasta altitudes cercanas a los 1.500 m. Hacia el interior y E de la península, la precipitación de origen atlántico decae rápidamente en las cubetas topográficas y necesita un refuerzo orográfico. Los Pirineos y el Sistema Ibérico permiten extender esta modalidad climática de transición entre un verdadero clima oceánico y un mediterráneo con lluvias orográficas. En buena parte de Teruel y algunas comarcas gerundenses (como La Selva) todavía se trata de un Cfb más complejo, pues entran en juego las tormentas convectivas veraniegas. En estas circunstancias, en realidad serían climas Cfa con verano fresco.

Cfa: Se trata también de una modalidad climática que no tiene nada que ver con el auténtico clima subtropical húmedo, o clima “chino”. En la Península Ibérica (y en otros lugares de Europa como el Valle del Po, Eslovenia, Bulgaria...), es un clima híbrido, de transición entre los veranos cálidos mediterráneos (Csa) y los regímenes pluviométricos de climas oceánicos (Cfb). Se localiza siempre en sectores de transición entre las dos modalidades “básicas” de las que surge, aunque tiene un elemento genético particular y bastante exclusivo, la tormentosidad estival, que hace que el verano pueda llegar a ser la estación más lluviosa (ver clima anterior).

BSk: Aparecen casi sistemáticamente en todas las cubetas interiores de la meseta, partiendo incluso a nivel del mar. Pero es la estepa dominante con un poco de altitud (entre 200 y 400m) y una mínima continentalidad. No son estepas de transición entre el clima mediterráneo y el desértico (como las estepas “sirias”), sino que son estepas “intramediterráneas”, generadas siempre por la protección y efecto de sombra pluviométrica del relieve circundante. Se extienden ampliamente en la Depresión del Ebro, en valles interiores como el del Jiloca o el Turia-Alfambra, en buena parte de la Mancha, y en altiplanos y pequeñas depresiones intramontanas de los sistemas béticos (Yecla, Jumilla, depresión de Guadix-Baza...).

Bsh: En realidad se trata del mismo clima anterior, es decir una estepa intramediterránea, con la salvedad de que por altitud y por latitud las temperaturas medias anuales superan por poco los 18°C y se clasifican formalmente como estepas cálidas. Aunque pueden aparecer localmente en algún sector del Golfo de Valencia,

su ubicación casi exclusiva es la del litoral SE peninsular entre el sur de Alicante y Almería, siempre en franjas litorales. Aunque no se trate estrictamente de cubetas orográficas cerradas, todo este sector funciona a gran escala como un lugar de intensa sombra pluviométrica, pues los flujos marítimos capaces de traer lluvia tienen unos recorridos por el Mediterráneo de muy pocos kilómetros.

Aparte de estos tipos principales, cuya distribución espacial en la mitad E peninsular se puede observar en la figura 1.4, pueden aparecer otros tipos de Köppen, como algún sector que llega a dar una aridez de desierto (BW), en cubetas interiores bajas de Almería, o incluso climas de “tundra” (ET) en la alta montaña pirenaica y de Sierra Nevada.

D- UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SECTORES ANALIZADOS

En la figura 1.5 puede observarse un esquema de la localización de todos los lugares o sectores de estudio de la Península Ibérica analizados en este trabajo. Si trazamos una correspondencia entre ellos y las figuras de ambientes climáticos o geológicos, vemos que se ubican principalmente en dos sistemas montañosos, el Bético y el Ibérico, y en depresiones neógenas. Desde un punto de vista climático, la mayor parte de lugares estudiados están en estepas frías (Bsk de Köppen) o en sectores de clima mediterráneo típico (Csa/Csb).

Los dos sectores de análisis de la gestión del agua en laderas están ubicados en el Sistema Ibérico. Se ha buscado una gradación climática en la que el agua sea principalmente un recurso, pero no exenta de riesgo, es decir, que presente en mayor o menor medida ambas facetas. En el caso de Monteagudo del Castillo (sobre 1.400m), el clima es mediterráneo continentalizado de montaña media (Cfb por las tormentas estivales), pero muy cercano a condiciones de estepa fría. En la zona de estudio de Segorbe se está en un clima Csa cercano a condiciones esteparias (en principio BSk, pero cercano a condiciones BSh).

Los dos sectores de análisis de cultivos en fondo de valle se ubican en condiciones climáticas de estepa fría, la que se da en el centro del valle del Ebro y la de tierras interiores de Almería. Finalmente, los ejemplos estudiados de boqueras y de galerías drenantes de aguas subálveas también se extienden en su mayoría en zonas esteparias frías (BSk), incluso en estepas cálidas.

Desde un punto de vista geológico, como apuntábamos, muchos de los lugares estudiados guardan relación con cubetas neógenas de diferentes escalas (fondos de valle de Valmadrid en el Valle del Ebro, casi todas las galerías de las ramblas almerienses...), o con sectores limítrofes entre montañas de los Sistemas Béticos o Ibérico y pequeñas cubetas neógenas intramontanas (Monteagudo del Castillo y algunas galerías y boqueras, sobre todo en Alicante).

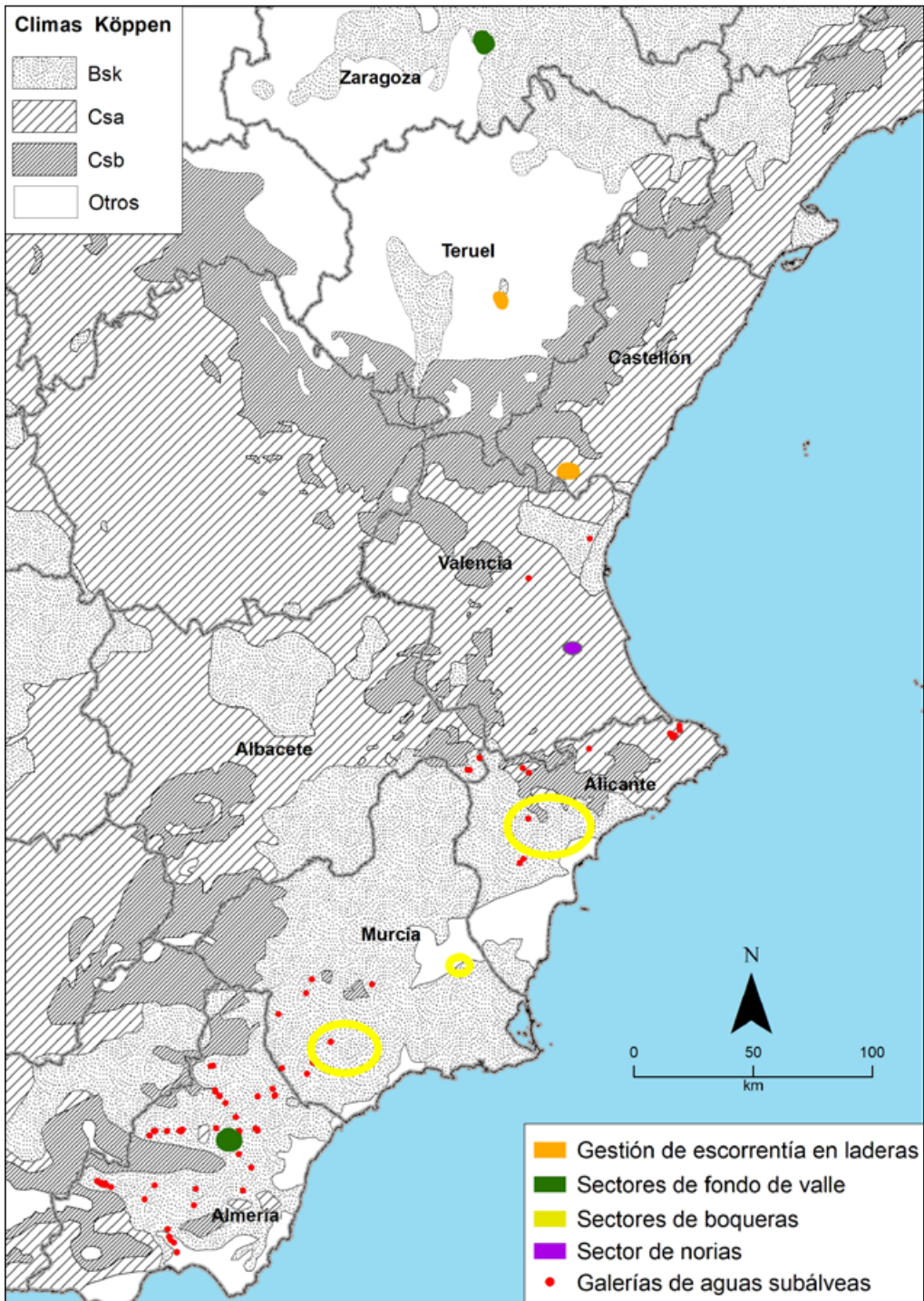


Figura 1.5: Localización de los sectores y sistemas analizados en el SE español.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. El Túnez semiárido

Túnez es el más pequeño de los países del Norte de África (unos 163.600 km²). Su latitud más meridional no llega tan al sur como en el resto de países (Egipto, Libia, Argelia y Marruecos), pero su extensión N-S (entre 37° 21'N y 30° 14'N) es suficientemente grande como para que aparezcan los tres climas básicos del N de África: el mediterráneo (Csa de Köppen), las estepas cálidas de tipo "sirio" (BSh) y los desiertos cálidos continentales (BWh). Incluso, llegan a aparecer las modalidades frías de estas estepas (BSk y BWk), por el efecto sumado de latitud y continentalidad.

Túnez tiene una particularidad que lo hace diferente al resto del Magreb y Egipto: una extensa fachada que mira a levante, desde el cabo Bon (Al Ras al Taieb) hasta más al S de la isla de Djerba. Este rasgo físico lo asemeja a la zona estudiada de la Península Ibérica, pues implica precipitaciones más escasas y más torrenciales.

Con todo, a pesar de los claros contrastes que ofrece el país, no tiene tanta variedad ambiental como la ibérica. Tanto su relieve, como su clima, o incluso su geología, tienen una distribución espacial más esquemática y, además, tienden a coincidir en el espacio. De ahí surgen tres grandes sectores fisiográficos: las montañas alpinas mediterráneas del N, el piedemonte central estepario y el desierto del Sur. No obstante, si ampliamos la escala de análisis, se nos hace más articulado el relieve, se añaden más variedades al mosaico climático y aumenta la complejidad geológica, litológica y tectónica.

A- TRES GRANDES UNIDADES DE RELIEVE

El relieve de Túnez se articula en tres grandes sectores: a) las montañas del norte, b) el piedemonte y depresiones centrales y c) las planicies y modestos relieves del Sur. Su vértice más elevado es el Djebel Chambi (1.544m), en la Dorsal del Atlas. Y llega a tener cotas por debajo del nivel del mar en algún *chott*. El punto más bajo alcanza -17m en el Chott el Gharsa, al N de Tozeur.

1. Las montañas del norte se disponen de SW a NE, en forma de unidades estructurales de origen alpino. Las grandes unidades de relieve tunecinas, el Tell y el Atlas, son básicamente una prolongación hacia el E del relieve del Magreb (fig. 1.6, a partir de Piqué *et al.*, 2002). El Tell tunecino es una continuación del argelino que, a su vez, forma parte del eje montañoso costero magrebí, formado también por el *Rif* marroquí. Por su parte, el Atlas tunecino también es una continuación del Antiatlas marroquí (con altura máxima en el Toubkal, 4.167m) y del Atlas Sahariano de Argelia. En ambos casos, las alturas de los sectores tunecinos siempre son más modestas. El único gran elemento del relieve magrebí que falta en Túnez es el central, el que separa las alineaciones montañosas costeras e interiores, y cuyo máximo exponente son las *hautes plaines* argelinas.

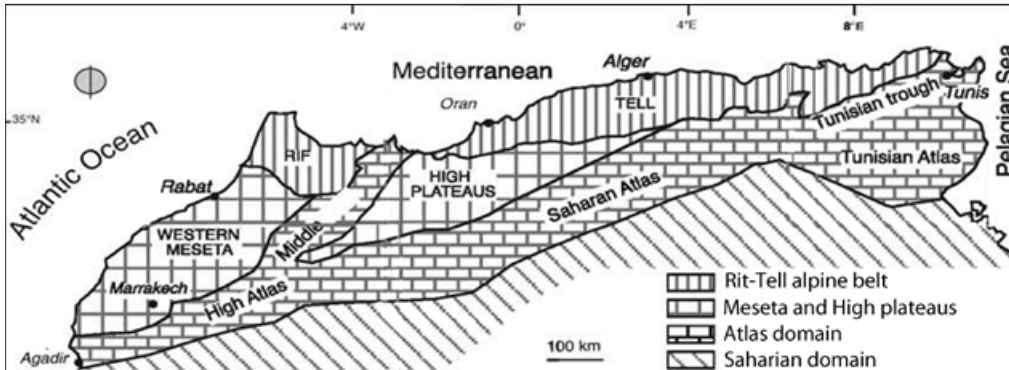


Figura 1.6: Grandes dominios del Atlas magrebí.

Fuente: Piqué et al. (2002, p.186).

El Tell tunecino es en general un eje simple y estrecho, ceñido casi estrictamente al litoral. Su sector oriental está formado por montañas modestas (con el Djebel Ishkel, 511 m, como punto culminante) que van perdiendo altura progresivamente hasta hundirse en el Mediterráneo. El Tell occidental es algo más complejo y alto, con cordilleras como M'Kaad o Khmir (con el Djebel Ghorra -1.243m- como pico más alto). En conjunto, el Tell está separado del Atlas tunecino por un surco tectónico (el *Tunisian trough*, Piqué et al., 2002, p.186), que utiliza en parte el río Mdjerda en su discurrir de SW a NE.

Al S del Mdjerda se extiende el Atlas tunecino, en el que, de N a S pueden distinguirse tres sectores, todos ellos con sierras que se extienden de SW a NE. En el sector septentrional las sierras son más modestas, incluso con altitudes menores que las del Tell occidental. Destacan algunas como el Djebel Karaa (963m), cerca de Teboursouk, y el Djebel Ouargha (912m). En el sector central las montañas son un poco más elevadas con sierras como el Djebel Herra (975m) o el pico aislado Kalat Snan (1.271m). El sector meridional es claramente el más elevado, aunque va perdiendo altura de SW a NE. Allí se sitúa el Djebel Chambi (1.544m), el vértice más elevado del país, así como el Djebel Samana (1.314m), el Djebel Saloum (1.373m) y el Djebel Zaghuán (1.275m). Este eje acaba formando, al final, la península del cabo Bon (Al-Watan al-Koubli). En conjunto, se le denomina la Dorsal (Cordillera de Dahría - "espalda" en árabe-).

2. El sector de depresiones y planicies centrales se extiende ya en el dominio estructural sahariano, siendo en conjunto una zona de transición. Una característica del gran sector de relieve montañoso anterior es la continuidad espacial que presentan los ejes montañosos, con escasas y breves interrupciones entre ellos: la montaña domina claramente a las depresiones y llanuras interiores. A diferencia de ello, en este sector central los *djebels* son arrugas aisladas en medio de extensas planicies.

Otra diferencia es que los *djebels* no presentan una orientación casi constante, sino que forman en conjunto un gran arco que comienza con alineaciones W-E, en la frontera con Argelia, y acaban N-S cerca de la costa mediterránea. *Grosso modo* se observa una alineación interior formada por Dj. Al Mghatta (943m), Dj. Sidi Aich (1.029m), Dj. Al Kabar (794m) y Dj. Nara (772m). Más exterior sería el arco formado por el Dj. En Negueb (907m), el Dj. Orbata (881m) y Dj. Bou Hidma (823m). Entre estas dos alineaciones se extienden ya amplias cubetas, algunas de ellas *chotts*: de W a E tenemos el Chott el Gharsa, la depresión al N de Gafsa, drenada por el Oued Sidi Aich, la cubeta cerrada de Al-Miknassi, y ya más hacia el NE, el pequeño *chott* de Mecheguig, la *sebkha* de Sidi el Hani o la de Kelbia, cerca de Sousse.

Hacia el S de estos ejes de sierras y depresiones, en transición hacia el desierto, encontramos todavía algunas sierras aisladas, como la dorsal de Chareb, que separa el chott El Gharsa del chott El Jerid, o el Djebel Tebaga, el más meridional. Esta sierra delimita, junto con la dorsal de Chareb, el *chott* de Fejaj, que es una prolongación hacia el E del gran Chott El Jerid, que llega casi hasta el oasis de Oudref.

3. Las planicies y mesetas del sur pertenecen ya totalmente al dominio sahariano. Así como las sierras del sector anterior eran todavía pliegues alpinos aislados, una zona de transición entre el escudo africano y las montañas alpinas del norte, en este sector estaríamos en un dominio geológico que Strahler y Strahler (1989) denominan “cobertera sedimentaria que bordea los escudos”. El relieve cambia completamente de configuración, y aparecen llanuras con depósitos postorogénicos y mesetas constituidas por materiales que recubren el escudo. En el caso de Túnez, los tres elementos de esta área meridional se articulan de interior a costa: el *erg* del interior, extremo nororiental del gran *erg* argelino, las montañas del Dahar y las llanuras costeras. El campo de dunas del Sahara tunecino alcanza unas alturas que oscilan entre 200m y 300m. El Dahar es en realidad una plataforma calcárea basculada ligeramente hacia el desierto interior y con frentes de cuesta hacia la costa. Su altitud no suele sobrepasar los 500m, aunque llega a alcanzar 682m en Djebel Emzenzam y 648m en Djebel Moggor cerca de Beni Khedache, en Medenine. Aunque al N sigue una disposición N-S, a medida que se acerca al límite con Libia se arquea (además de ir perdiendo altura). En conjunto forma un arco interior, paralelo a la costa del Golfo de Gabes, que se adentra en Libia. Los piedemontes y las llanuras costeras se extienden entre estos frentes de cuesta y el litoral. Su desnivel va desde unos 400m en los puntos más altos de arranque de los glaciares hasta el nivel del mar.

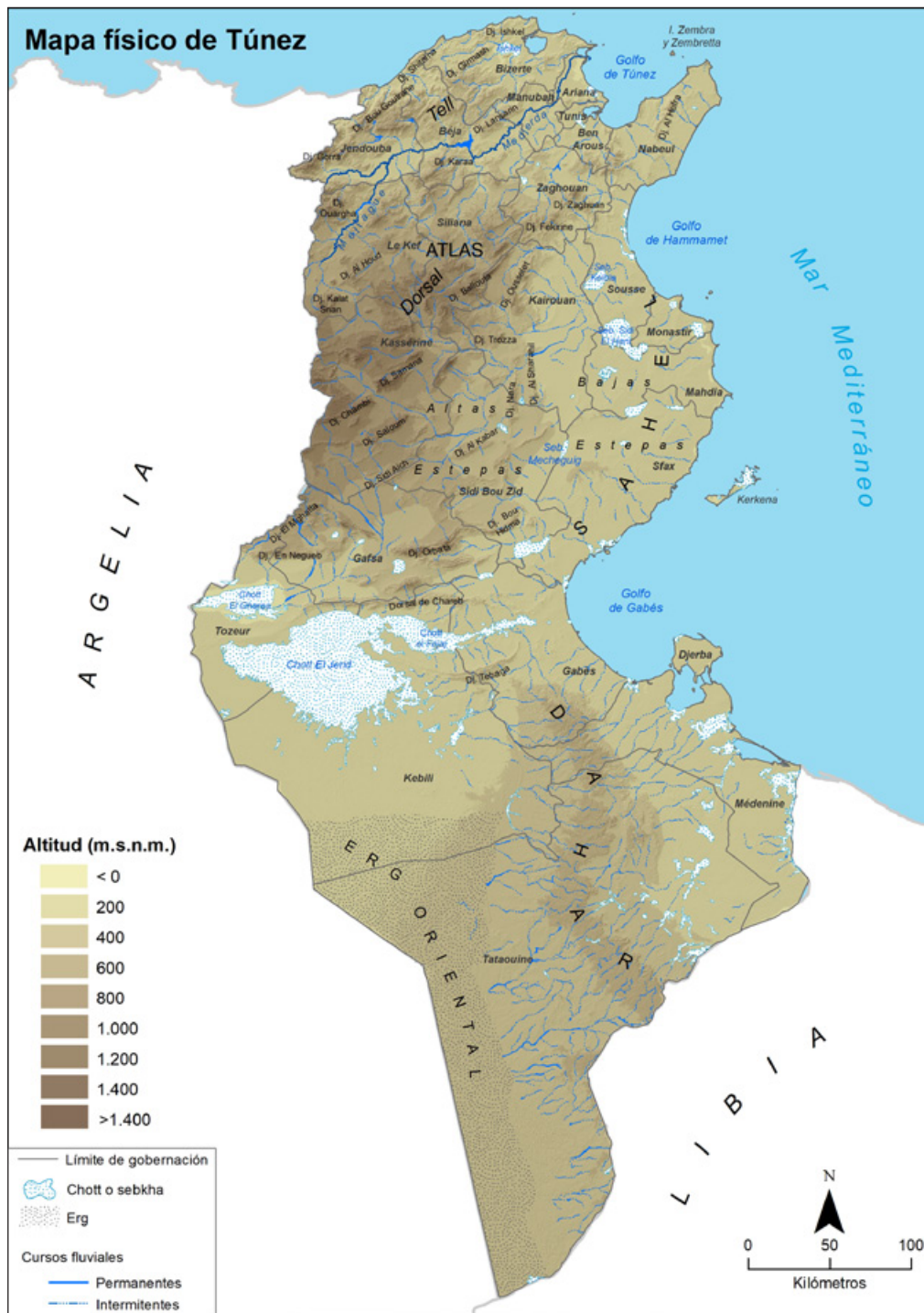


Figura 1.7: Orografía de Túnez.

Fuente: Elaboración propia.

B- GEOLOGÍA: EL ESCUDO AFRICANO Y LAS CORDILLERAS ALPINAS

El contexto geológico general de Túnez está determinado por la placa africana, que forma, en su relación con la europea, el conjunto de cordilleras alpinas que aparecen en la mitad N del país. Esta relación tiene dos fases fundamentales, a- una **distensiva**, que comienza en el Pérmico con la formación del gran geosinclinal de Tethys, y b- otra **compresiva** que comienza a inicios del Terciario.

En todo el Mediterráneo occidental, esta relación ha estado modulada por pequeñas piezas rígidas que quedaron en posición intermedia. En España señalábamos la importancia del mismo macizo hespérico y de pequeños macizos como el del Ebro o el de Aquitania. En el caso de Túnez tiene una gran importancia la “placa mesomediterránea” (Durand Delga y Fontboté, 1980, Guerrera, Martín-Algarra y Perrone, 1993), o “Dominio sudsardo” (Sanz de Galdeano, 1990b) visible hoy en día en las islas de Córcega y Cerdeña. Esta pieza central del Mediterráneo occidental es clave, de modo directo o indirecto, para la formación de las montañas alpinas del N de Túnez. Pero, además, en torno a ella aparecen unos paralelismos tectosedimentarios que hacen que los rasgos geológicos ibéricos, en muchos casos, sean muy parecidos a los tunecinos. Según Martín-Algarra y Vera (2004), el Orógeno Alpino Perimediterráneo, tiene elementos de “antepaís” (el macizo hespérico en España o el escudo africano en Túnez), con cordilleras intracratónicas alpinas (por ejemplo, la cordillera ibérica o el Atlas tunecino), y con un arco de montañas con tres segmentos (oróclinos) que lo cierran casi por completo: Al sur el Rif-Tell y Arco Calabro-Peloritano, al N los Alpes Occidentales, y al W el Arco de Gibraltar.

Esta simetría tectónica se traduce también en una simetría litológica bastante acusada, pues los procesos tectosedimentarios que la han formado son los mismos. Por ejemplo, hay una gran semejanza entre los materiales (calcáreos), las edades (Mesozoico) y los estilos estructurales (estilos germánico y jurásico) de las sierras de la cordillera ibérica y las del Atlas tunecino, incluso con fenómenos de diapirismo triásico en ambos casos. Martín-Algarra y Vera (2004) destacan también la simetría estructural paleogeográfica y tectónica de los oróclinos que cierran la cuenca mediterránea occidental. Todos ellos tienen Zonas Externas, Complejo de Flyschs (complejos turbidíticos) y Zonas Internas. En resumen, la geología del N de Túnez sería equivalente al de las Sierras Béticas, con el Tell como ejemplo de condiciones propias de los dominios béticos, y con el Atlas como ejemplo de condiciones propias al del Sistema Ibérico (ver fig. 1.8).

a- En Túnez, la etapa sedimentaria **distensiva** del ciclo alpino tiene una evolución paleogeográfica (ver fig. 1.9) que está condicionada también, al igual que en la Península Ibérica, por un inicio durante el Pérmico, por unos ambientes sedimentarios parecidos (continentales, de plataforma, de mares profundos...), por movimientos epirogénicos prealpinos, que crean cuencas y umbrales y modulan la sedimentación, y por secuencias regresivas y transgresivas del Mar de Tethys equivalentes. Los grandes rasgos de esta evolución los sintetizamos en:

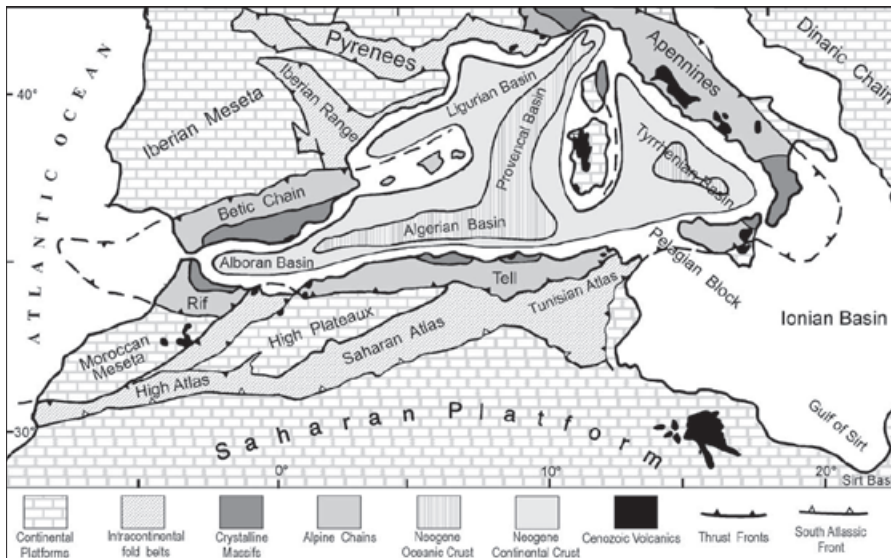


Figura 1.8: Rasgos tectónicos del Mediterráneo occidental.

Fuente: Bouaziz *et al.* (2002, p.228), a partir de Doglioni *et al* (1999).

- La aparición temprana de cubetas sedimentarias, como la de Jeffara (reducida posteriormente a la de Tataouine), y de umbrales (como el de Tebaga-Medenine) que condicionan la sedimentación desde el inicio del ciclo alpino.
- La primera y única transgresión que cubre todo el territorio tunecino (y que provoca que en todo Túnez no llegue a aflorar el escudo africano) es la del Cretácico superior. Esta misma transgresión, en la Península Ibérica, llega a cubrir todo el surco ibérico y a conectar el Mar de Thehs con el Atlántico primigenio.
- La aparición de un mar cada vez más profundo en el eje del actual Mediterráneo, al N de Túnez, comienza ya en el Triásico (no en el Pérmico, como en Jeffara), pero hay que esperar hasta mediados del Jurásico para que se creen condiciones batiales o abisales. Estas condiciones solo llegan a alcanzarse en el Tell, apenas en el Atlas (hasta el umbral de Kairouan, aproximadamente).
- Desde finales del Cretácico ya no se dan condiciones de sedimentación marina en la mitad sur del país. Pero hasta finales del Mioceno se mantienen en el Tell y parte del Atlas (en su sector norte y en la cubeta de Gafsa, aunque no en el umbral de Kasserine). Esto mismo ocurre en las Sierras Béticas, aunque no en el Sistema ibérico, cordillera intracratónica sin sedimentos marinos durante el Terciario.
- Al igual que en el Sistema Ibérico y en las unidades béticas externas, las fallas y pliegues alpinos disparan un diapirismo del Trías plástico que se mantiene casi hasta el Cuaternario.
- La desaparición de las condiciones sedimentarias marinas está ligada al episodio tectónico paroxismal, que comienza en el Eoceno y Oligoceno y se completa en el Mioceno.

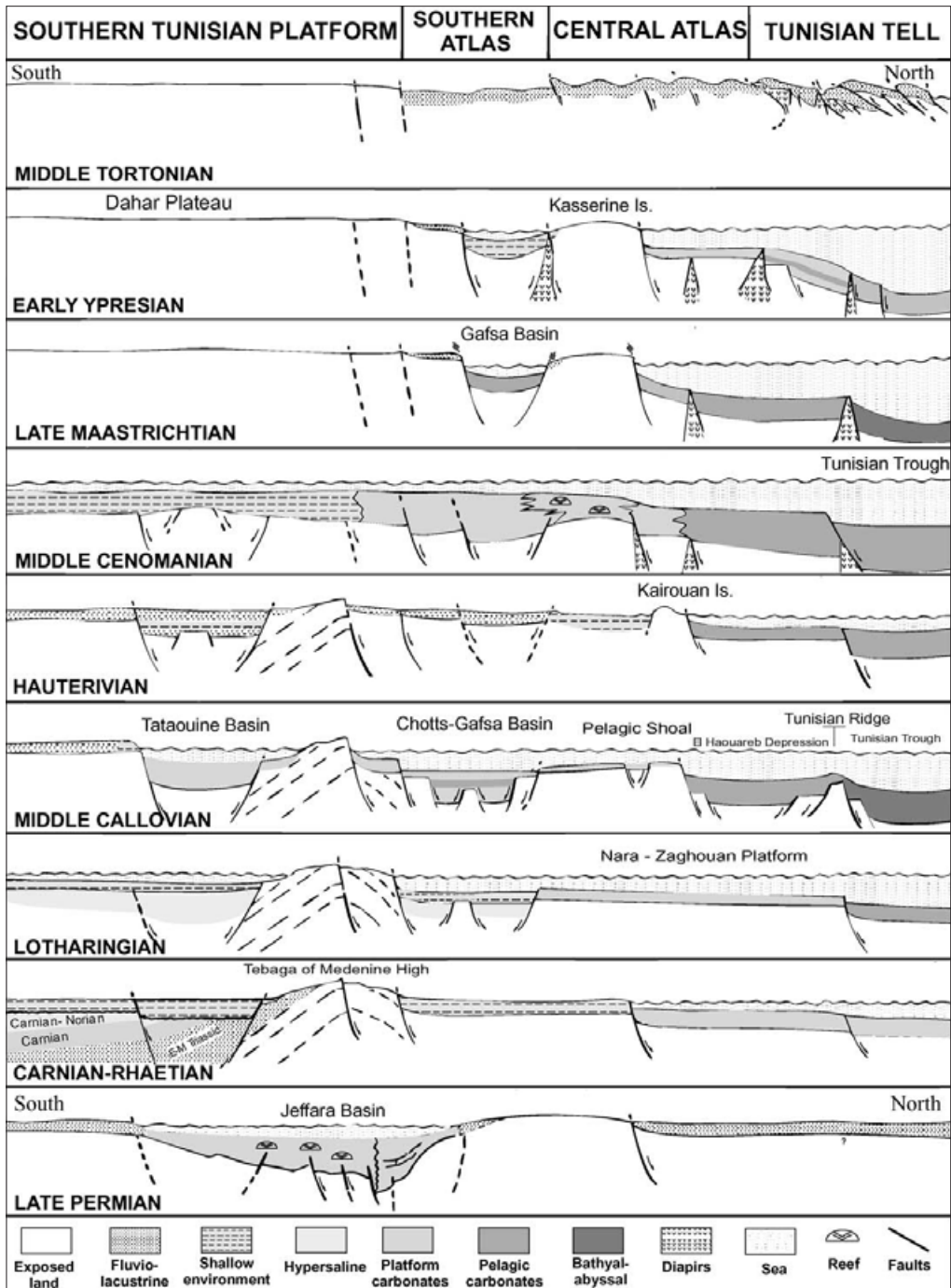


Figura 1.9: Evolución paleogeográfica que muestra la relación entre la sedimentación y la tectónica en Túnez.

Fuente: Bouaziz *et al.* (2002, p.249).

b- La etapa **compresiva**, que señalábamos al inicio del apartado, no es un caso simple de colisión entre placas, la africana y la mesomediterránea, sino que reviste una cierta complejidad. Esta deriva de la misma evolución del Mediterráneo occidental y de la apertura de la cuenca alguero-provenzal, hasta la de Alborán, por rotación de la placa mesomediterránea hacia el E. Antes y después de este movimiento, iniciado ya en el Oligoceno y completado en el Burdigaliense, existía corteza oceánica con procesos de subducción en la protocubeta de Tethys. Esta subducción creó capas de sedimentos metamorfizados que actuaron posteriormente como piezas rígidas a escala regional. Es el caso del oroclinal del sur de la placa mesomediterránea (desde el Rif hasta Calabria), en cuya formación interviene una pequeña pieza rígida denominada AlKaPeCa (**Al**borán, **K**abilia, montes **Pe**loritanos, al N de Sicilia, y **Ca**labria). En Túnez, estos materiales metamórficos no llegan a aflorar, como sí que ocurre en la Kabilia argelina, pero actuarían como un zócalo rígido situado delante de la costa N tunecina y serían los responsables en última instancia del plegamiento de las capas de flysch y sedimentos de plataforma marina (ver esquema en la fig.1.10).

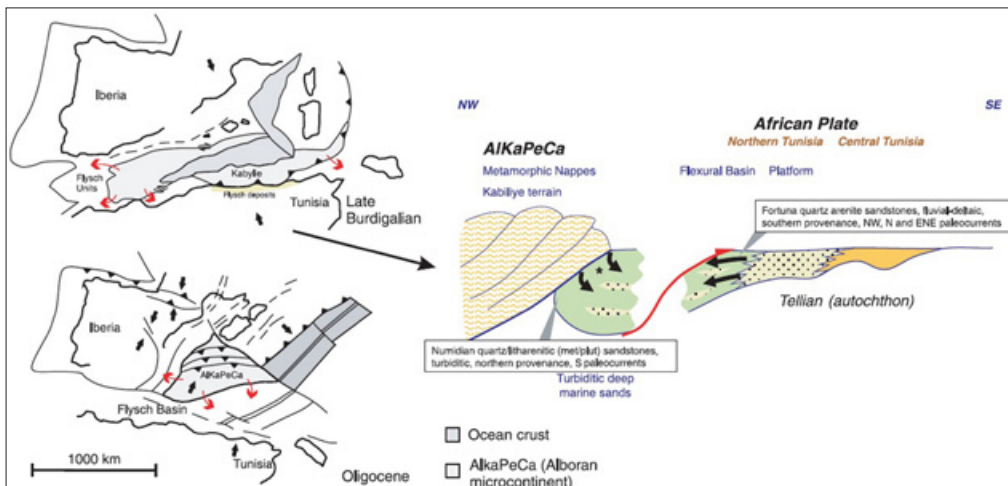


Figura 1.10: Reconstrucción tectónica de placas para la región del Mediterráneo occidental. La reconstrucción del Oligoceno muestra la ubicación de la cuenca del flysch numídico entre el microcontinente de Alborán (AlKaPeCa) y el norte de África. La reconstrucción del Burdigaliense superior (Mioceno inferior) y la sección transversal esquemática muestran la relación compresiva entre la microplaca de Alborán (Kabilie) y el flysch numídico asociado al margen noroeste africano.

Fuente: El Ouardi (2002, p.96), modificada a partir de Lonergan y White (1997).

Así pues, en Túnez, la formación de las sierras alpinas del N del país tiene una historia geológica común con la de las Sierras Béticas, tanto en las etapas sedimentarias mesozoicas como en la fase paroxismal de la orogenia, que tiene lugar ya en el Mioceno. Durante este periodo, se mantiene la tensión compresiva hasta el final, lo que llega a plegar hasta los sedimentos marinos del Tortonense y los sedimentos fluvioacustres de las tierras ya emergidas.

Durante el Plioceno, sin embargo, se establecen de nuevo condiciones distensivas (ver fig. 1.11). Pero estas tensiones no actúan en sentido NW-SE (es decir, ligados al *rifting* europeo, como ocurre en toda la costa ovalada normediterránea desde el Golfo de León hasta Alborán). Funcionan en sentido SW-NE, asociadas al hundimiento y reconfiguración del Golfo de Sirte y a un basculamiento hacia el SW de la plataforma africana, que se manifiesta en el buzamiento y disposición general de los sedimentos que la recubren.

Así como las etapas compresivas miocenas son las principales responsables del relieve del N del país, esta última etapa distensiva pliocuaternaria, en última instancia, es la que explica el relieve del centro y del S.

El resultado final de todos estos procesos puede observarse en el mapa estructural de la figura 1.12.

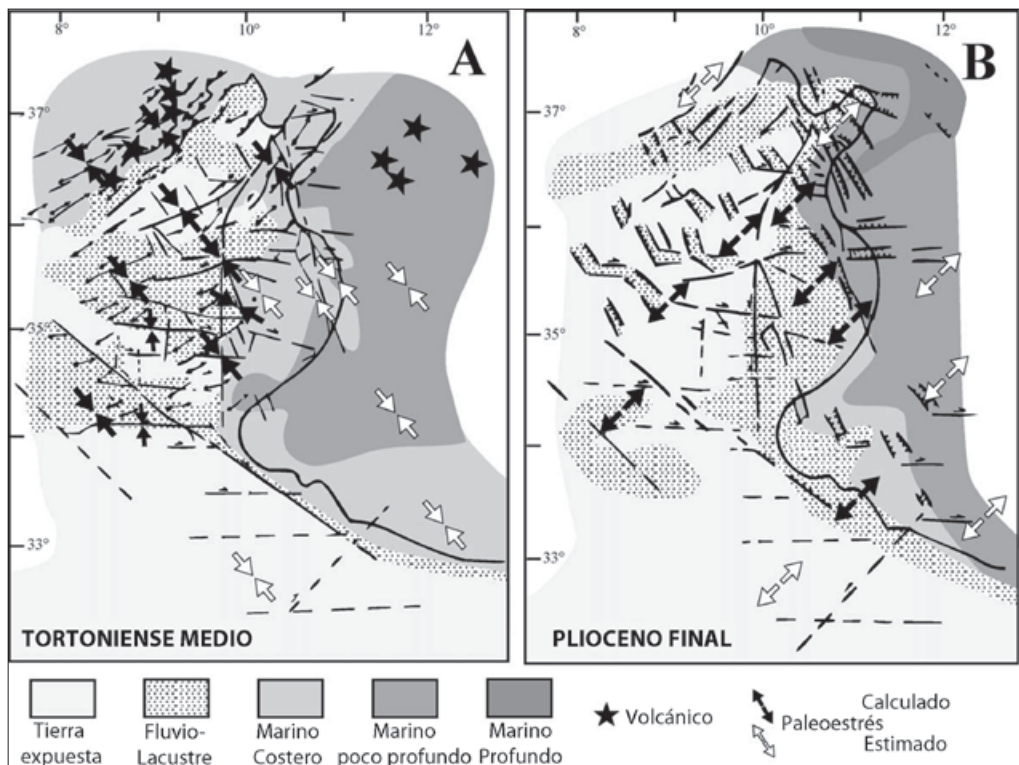


Figura 1.11: Mapa paleogeográfico y paleotectónico del Neógeno en Túnez.

Fuente: modificado, a partir de Bouaziz *et al.* (2002, p.246).

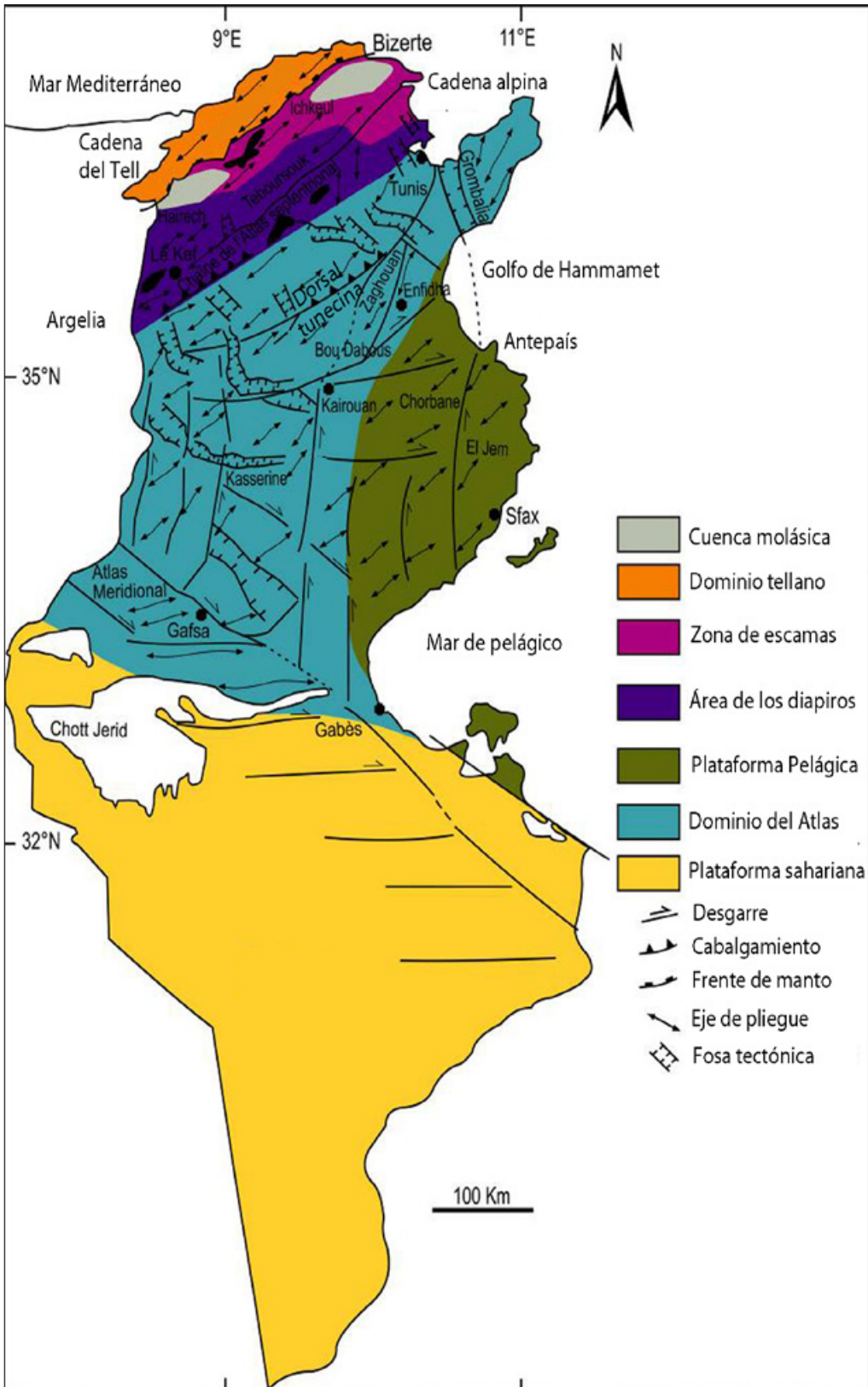


Figura 1.12: Mapa estructural y principales alineamientos de Túnez.

Fuente: Hezzi (2014, p.8).

C- EL TRÁNSITO CLIMÁTICO N-S

La estructura de la distribución espacial de los climas en Túnez coincide con la estructura del relieve y del resultado final de la evolución geológica: climas mediterráneos en las montañas alpinas, climas esteparios en los llanos y sierras aisladas del sector central y climas desérticos en la plataforma meridional.

En cierto modo, estos tres elementos guardan relación. Es evidente la relación del relieve con la evolución geológica, pero también se da entre el relieve y los climas:

1. Las montañas del N, beneficiadas por su latitud más septentrional, sufren en mayor medida el paso de borrascas mediterráneas (las “borrascas del Golfo de Génova”, generadas fundamentalmente en el mismo Mediterráneo occidental) (ver fig. 2.2). Las montañas interceptan estas borrascas y ayudan, por efecto orográfico de barlovento, a que descarguen unas cantidades mayores de precipitación.

2. Estas mismas montañas generan un efecto de sombra pluviométrica sobre las tierras más bajas del S, y propician que el tránsito hacia condiciones secas sea brusco. Esto ocurre también en Marruecos y Argelia, países en los que la franja esteparia de tránsito al desierto es muy estrecha. En Túnez, el tránsito estepario es algo más gradual, y la razón estriba, en última instancia, en un hecho geológico: la existencia del Golfo de Sirte (pieza del mar de Thethys casi siembre hundida, situada entre la placa africana y la de Adria, con un nuevo proceso de hundimiento pliocuaternario. La existencia de este golfo hace que Túnez tenga una larga costa que mira hacia Levante y se beneficia de las ocasionales situaciones de Levante que ocasionan lluvias intensas (un rasgo similar al del Levante español).

3. Las plataformas tabulares del sur del país se suman al implacable efecto de la latitud para ocasionar condiciones propias del desierto. A partir de Gabes, la costa deja de mirar a Levante y pasa a ser E-W. Así pues, se suman dos factores más al de la latitud: la ausencia o extrema debilidad de un efecto orográfico y una mala exposición a los flujos húmedos e inestables del Mediterráneo.

Un mosaico climático simple

Túnez presenta, pues, tres tipos básicos de clima: el clima mediterráneo típico (Csa), los climas esteparios (BS) y los desérticos (BW). De ellos surgen cinco variedades climáticas (siguiendo la clasificación de Köppen). Su distribución espacial puede observarse en la figura 1.13.

Csa: El sector de clima mediterráneo se extiende por la costa norte, las montañas del Tell y el sector más septentrional del Atlas tunecino. Pero llega a estar presente también, por el efecto orográfico sobre las lluvias, en las montañas centrales de la Dorsal (por ejemplo, en el Djebel Ballouta), en toda la península del Cabo Bon (Nabeul) e incluso en la costa del Golfo de Hammamat, casi hasta Sousse.

Se trata, casi sin excepciones, de la variante “helena” del clima mediterráneo (Viers, 1968), que es la propia no solo del Mediterráneo Central y Oriental, sino también de la costa africana del Mediterráneo Occidental, con claros máximos invernales. Esto ocurre independientemente del total pluviométrico anual del observatorio. Sin embargo, en la fachada marítima oriental del país, se observa una sutil tendencia al incremento de las lluvias otoñales (en Túnez capital el mes más lluvioso es octubre). Este hecho, no llega a generar una variante climática diferenciada, pero está también detrás de que las lluvias de este sector litoral sean un poco más abundantes de lo que les correspondería siguiendo el gradiente NW-SE: el efecto de la torrencialidad de las lluvias procedentes del E.

BSh y BSk: En realidad se trata de un mismo tipo de clima (como ocurre, por ejemplo, en Almería). La única diferencia es que las tierras del interior, por efecto de la continentalidad y en cierta medida de la altitud (entre 400 y 600m), tienen temperaturas invernales algo más frías, lo que provoca que la temperatura media anual baje un poco de los 18°C y tengan la morfología de estepas frías (“k”). No se trata de estepas “intramediterráneas”, como las españolas, sino que se trata realmente de las estepas “sirias” de Viers (1968): aunque estas estepas “de norte de desierto” son básicamente cálidas (BSh), al estar en latitudes extratropicales pueden ser BSk por efecto de la continentalidad, la altitud o la latitud.

Señalábamos anteriormente que la franja de las estepas “sirias”, en Túnez, es algo más amplia que en el resto del Magreb. Sin embargo, no se extiende más allá de unos 100 km entre el clima mediterráneo del N y el desértico del S. Las depresiones que hay entre el eje de la Dorsal y las sierras situadas más al N son ya esteparias. También lo son las montañas más interiores de la Dorsal, incluido el Djebel Chambi. Pero al S llegan sólo hasta la primera alineación de *djebels*, la alineación interior formada por Dj. Al Mghatta, Dj. Sidi Aich, Dj. Al Kabar y Dj. Nara. Hacia la costa, el efecto de la torrencialidad asociada a los flujos del E hace que las condiciones esteparias, iniciadas ya al N de Sousse, lleguen hasta el N de la gobernación de Sfax.

BWh y BWk: Estamos nuevamente ante un mismo tipo de clima, el desierto cálido. La única diferencia es que, en Túnez, llega a aparecer un pequeño sector de desierto con temperaturas medias anuales inferiores a 18°C, por efecto de la altitud de los *djebels* interiores (Dj. Al Mghatta, Dj. Sidi Aich, exclusivamente). Otras montañas más al sur, normalmente de altitud algo inferior, ya no llegan a presentar desiertos “fríos”.

Según los criterios de Köppen, al sur del eje Gafsa-Sfax, incluso hasta Sidi Bouzeid, ya se pertenece a este tipo de climas. En el litoral, sin embargo, el sector de Sfax, con unas precipitaciones cercanas a 250 mm, tiene condiciones de estepa cálida. Henia (2008), no obstante, entiende que la franja entre Sfax y Gabes, casi hasta Medenine, todavía es un clima de transición con tendencia semiárida.

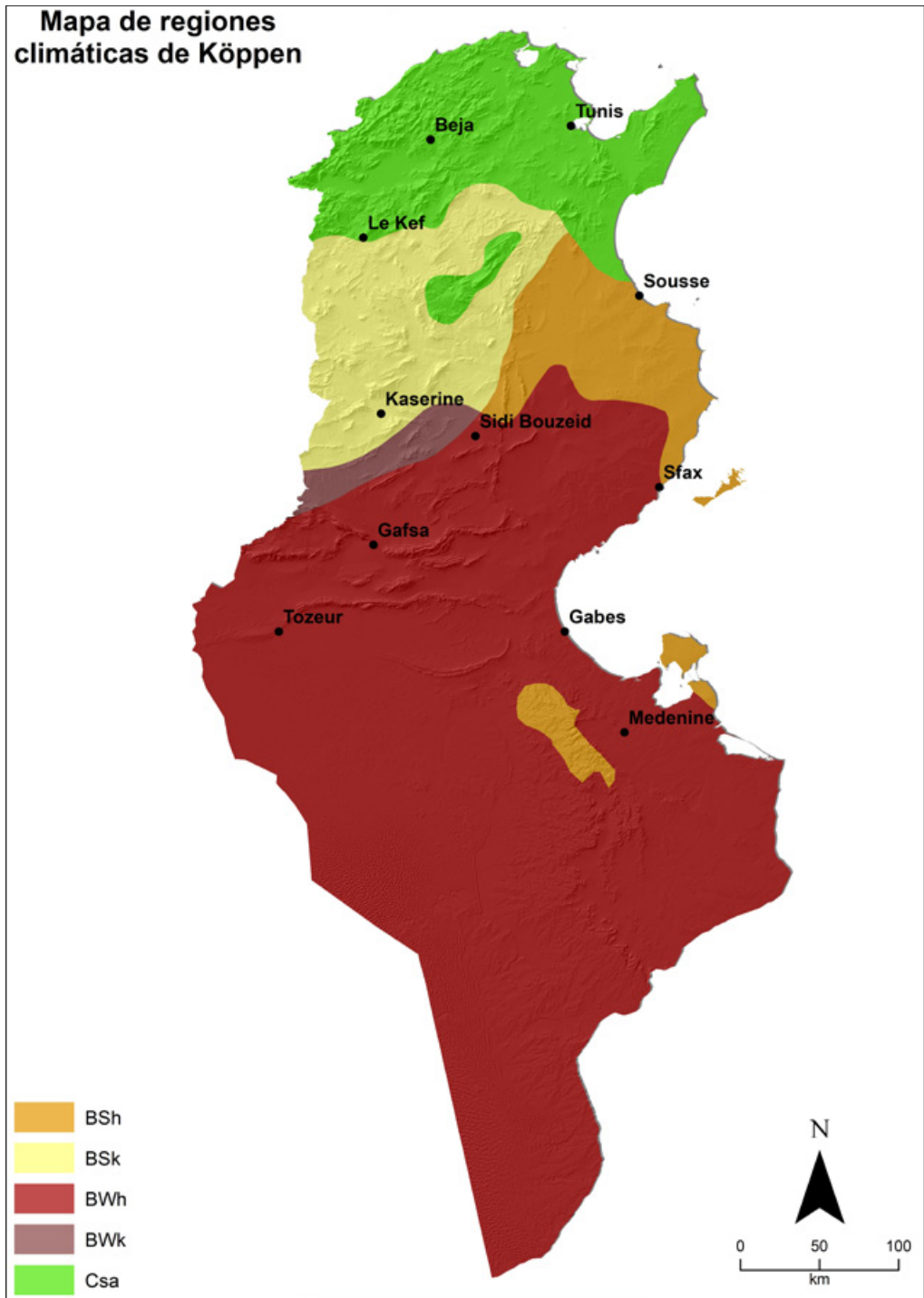


Figura 1.13: Grandes dominios climáticos de Túnez (según los criterios de clasificación de Köppen).
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos en climate-data.org.

D- SECTORES ESTUDIADOS

En la figura 1.14 puede observarse un esquema de la localización de todos los lugares o sectores de estudio de Túnez analizados en este trabajo. Al igual que en la Península Ibérica, muestran una diversidad de ambientes notable, pero se ha intentado encontrar las máximas similitudes entre los lugares de estudio tunecinos y los españoles.

A efectos de ampliar el rango de condiciones climáticas, si en España se llegaba a sectores subhúmedos, aquí se han considerado también los de transición al desierto. Desde un punto de vista climático se han considerado zonas de estudio que van desde la transición del clima estepario al mediterráneo (*vgr.* Sousse) hasta sectores de clima BWh de Köppen, con lluvias poco superiores a los 100 mm/año, pasando por sectores esteparios cálidos puros (BSH). Desde un punto de vista geológico, se han considerado puntos ubicados en tres unidades estructurales, el dominio del Atlas, en su parte más meridional, el de la plataforma pelágica que se extiende entre los golfos de Hammamet y Gabes, y el de plataforma sahariana (ver fig. 1.12). Las litologías más frecuentes son las arcillas, margas y calizas, dado que los ambientes sedimentarios, en todos los casos, han sido los propios de mares poco profundos o litorales, tanto en los sectores del Atlas, como en los de la plataforma marina que cubre el dominio sahariano. Las litologías de edad neógena, tanto las marinas como las de origen continental, también pertenecen a esta secuencia arcilla-marga-caliza. Son escasos los conglomerados., salvo en los depósitos aluviales cuaternarios.

El *meskat* de Sousse se ubica en un clima de transición de estepario a mediterráneo y en unas litologías blandas margoarcillosas. En este caso, las tablas calcáreas suelen ser costras. Los sectores de boqueras están más repartidos y tienen contextos ambientales algo más diversos. Desde un punto de vista climático, su rasgo común es la torrencialidad de las lluvias, a semejanza de los elegidos en España, y en general están en el clima estepario. Desde el punto de vista geológico, se han estudiado en dos sectores, en el frente neógeno de la plataforma calcárea que recubre el dominio sahariano, y en sectores meridionales de las montañas del Atlas.

Los fondos de valle se han estudiado en dos sectores, en las cercanías de Medeninne y en las de Matmata. Es una zona con clima ya desértico (según Köppen) o de transición al desierto (Henia, 2008). En todo caso, es un desierto con lluvias entre 150 y 250 mm que siguen teniendo la componente torrencial propia del litoral E, máxima entre Sfax y Sousse, pues son sistemas que necesita que se produzca escorrentía superficial que se acumule en los fondos de valle. Su contexto geológico vuelve a ser el de la plataforma calcárea que recubre el escudo en el denominado “dominio sahariano”, dentro de ella en Matmata y en los glaciares de su frente oriental en el caso de Medeninne.

Finalmente, las galerías estudiadas están situadas en una franja pluviométrica entre los 300 a 400mm, es decir desde el clima estepario puro (o central) hasta su transición al clima mediterráneo del N. Sólo en estas condiciones se pueden generar

aguas subálveas suficientemente productivas. Están casi todas en un mismo eje, que se corresponde con las alineaciones alpinas centrales de la mitad meridional del Atlas tunecino, en concreto entre el eje más alto de la Dorsal (*djibel* Chambi-Samana-Ballouta...) y la primera más importante del S (*djibel* Mghatta-Sidi Aich-Al Kabar-Nara). Por su parte, las norias han sido estudiadas en Testour, el único lugar en el que se presentan en Túnez, salvo casos aislados.

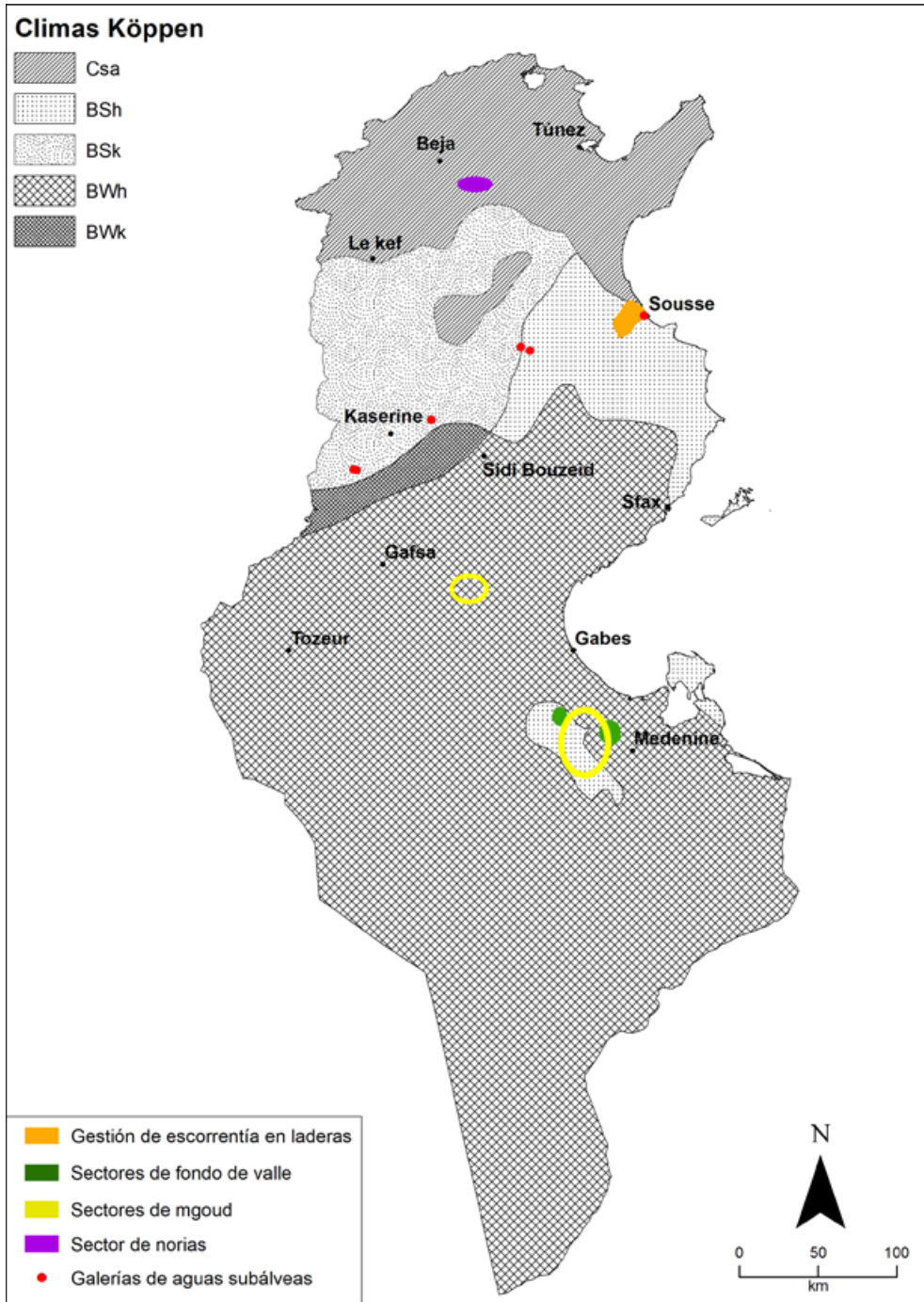


Figura 1.14: Localización de los sectores y sistemas analizados en Túnez.

Fuente: Elaboración propia.

1.4. METODOLOGÍA Y FUENTES

En este apartado del contexto general no pretendemos explicar la totalidad del desarrollo metodológico empleado a lo largo de la tesis doctoral, sino únicamente trazar las principales líneas metodológicas e indicar las fuentes básicas utilizadas. Del mismo modo que en el apartado anterior, se realiza en cada capítulo, incluso subapartado, la explicación pormenorizada de estos temas. Mostramos a continuación cómo se han abordado los objetivos trazados para el tema elegido en el espacio estudiado, es decir, la estrategia metodológica seguida.

Predominio de los enfoques cuantitativos y cartográficos

En general se realiza un tratamiento cuantitativo y cartográfico de los casos analizados. De modo sistemático, se han cartografiado los sistemas de gestión tradicional del agua analizados (tres sectores de gestión de agua generada en laderas, con 35 mapas, y cuatro en fondo de valle, con 25 mapas). Los sistemas de boqueras tunecinos también han sido cartografiados en detalle en todos los casos, mientras que en los españoles se ha tendido a utilizar casos ya estudiados por otros autores (con 32 mapas). Finalmente, en el tema del aprovechamiento de aguas subálveas, se han elaborado mapas de ubicación de los elementos en los dos sectores comparados de norias (Testour y la comarca de la Ribera Alta del Júcar, en la provincia de Valencia) y sendos croquis regionales de distribución espacial de los minados de aguas subálveas.

El uso que se hace de esta cartografía de elaboración propia es básicamente descriptivo: permite mostrar los diferentes tipos de elementos y su distribución espacial. Se suele aprovechar esta cartografía para cuantificaciones sencillas, como las dimensiones de los elementos lineales, densidades de elementos, porcentajes de superficie de determinados usos, etc. Sin embargo, en otros casos se han elaborado cartografías específicas con sistemas de información geográfica con una finalidad más cuantitativa que descriptiva (por ejemplo, en el estudio del sistema *meskat*).

El tratamiento cuantitativo presente en la tesis no se reduce a mediciones a partir de la cartografía elaborada, sino que se aplica en todos los casos en los que haya podido complementar, mejorar o llegar a conclusiones propias. Así, se han calculado densidades de usos del suelo en el *meskat*, a partir de un muestreo aleatorio, se han estimado pendientes medias o desniveles de bancales, a partir de datos LIDAR, o de modelos digitales del terreno, correlaciones entre parámetros, etc.

Este enfoque dado a los tratamientos analíticos de los temas abordados en este trabajo deriva de la revisión bibliográfica realizada al principio. Se pudo constatar en ella que, tanto en España como sobre todo en Túnez, los enfoques dados a los estudios sobre técnicas y sistemas de gestión tradicional del agua eran casi exclusivamente descriptivos. Destacan algunas excepciones (entre ellas, por ejemplo, los estudios de Morote, 2013, Ben Salem *et al.*, 2013, Ben Salem *et al.*, 2016, Fourati *et al.*, 2016 a y b, y pocos más).

La importancia de la fotointerpretación

El enfoque cartográfico citado en el apartado anterior, realizado con una precisión condicionada por escalas casi siempre amplias, exige una importante capacidad de reconocimiento del terreno. Para ello hemos recurrido al trabajo de campo, pero fundamentalmente se ha utilizado la fotointerpretación, que ha permitido la identificación de usos del suelo, la delimitación de elementos para su posterior medición, la identificación de tipologías de elementos, la elaboración de hipótesis explicativas, las evaluaciones cuantitativas aproximadas (por ejemplo de superficies, de pendientes o de buzamientos), la identificación de litologías, la identificación de elementos lineales, como acequias, canales, derivaciones de escorrentías, etc. También se ha utilizado, lógicamente, para diseñar el trabajo de campo: localización, recorridos, puntos de comprobación, etc.

Los materiales utilizados se detallan en cada caso. En general, se incluye cualquier modalidad de fuente disponible apropiada: la fotografía aérea clásica y las imágenes de satélite, incluidas las imágenes de Google Earth. También incluimos en esta línea metodológica los modelos digitales del terreno, tanto los disponibles para su descarga y directo uso como los que generamos nosotros (en los casos localizados en España) a partir de los datos LIDAR. Esa información, al estar georreferenciada, permite tratarla en un sistema de información geográfica, lo cual ayuda a llevar a cabo las tareas de análisis y cuantificación. Incluso obtener provecho del material cartográfico previo de la bibliografía, a través de su georreferenciación.

El enfoque del trabajo de campo

El trabajo de campo se ha planteado, básicamente, como complemento necesario del análisis cartográfico y cuantitativo obtenido de la fotointerpretación. Nos referimos a la verificación de la identificación de usos del suelo y de los elementos grandes de los sistemas, en general con un muestreo de casos. También ha servido para identificación de los tipos de elementos propios de cada sistema no reconocibles desde la interpretación, y para su documentación fotográfica.

En algunos casos complejos, como el análisis de los sistemas con diferentes tipos de acequias, o en el del trazado de las boqueras y la gestión del agua obtenida con ella, ha sido necesario un trabajo de campo más exhaustivo (Monteagudo del Castillo, Cabrera, Belkhir y resto de boqueras tunecinas, etc.). En el caso de las norias, ha sido necesario un trabajo de campo específico para contrastar su funcionamiento pasado y su estado actual, tanto en Testour como en la Ribera Alta. En otros casos, en especial en las galerías drenantes, se ha aprovechado el trabajo de campo previo.

Las entrevistas

La modalidad de trabajo efectuado necesita realizar, en la medida de lo posible, un contraste oral con conocedores de los lugares o sistemas analizados. Este contraste es conveniente para validar hipótesis previas, entender el funcionamiento de los

sistemas, en especial cuando requieren la presencia del hombre, para apreciar en su justa medida la acción antrópica, etc.

Se han realizado dos tipos de entrevistas: por un lado, a expertos conocedores de algún tema en concreto (por ejemplo, la localización de boqueras, tanto en Túnez como en España), por otro lado, a agricultores y campesinos. En este último caso, en general, se ha aprovechado el trabajo de campo para realizar las entrevistas, tanto las planificadas (por ejemplo, sobre la producción hídrica de las galerías, o la gestión del agua de las norias, propietarios normalmente), como las no previstas.

1.5. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis posee una estructura tradicional y cuenta con siete capítulos. El primer capítulo arranca con una breve explicación del tema elegido, la justificación de la tesis y los objetivos que pretendemos alcanzar. Realizamos referencias a la contextualización geográfica de los espacios objeto de estudio, donde se tratan el relieve, la geología y las condiciones climáticas. Dedicamos un breve apartado, tanto en SE español como en Túnez, a la caracterización de los sectores analizados. Finaliza el capítulo con un apartado sobre la estrategia metodológica general y las fuentes de información empleados en la tesis.

En el segundo capítulo, el estado de la cuestión, hablamos de la gestión tradicional del agua como riesgo o recurso y de la gran variedad existente de sistemas de aprovechamiento del agua en el mundo en general, y en el mundo mediterráneo en especial. Tratamos las diferentes clasificaciones utilizadas de los sistemas de captación y gestión de las aguas de lluvia en ámbitos áridos y semiáridos, y proponemos una clasificación con el fin de poder llevar a cabo nuestro análisis comparado.

El tercer capítulo se centra en los sistemas de gestión del agua de escorrentía en laderas y glacis, es decir, previa a su concentración en cursos fluviales. Se analiza su gestión en los campos de cultivo en secano, haciendo un especial hincapié en el equilibrio existente entre las dos facetas que poseen las aguas en estos sectores geomorfológicos, la faceta de riesgo y la de recurso. Tratamos los sistemas de derivación de escorrentías en el Levante español con dos casos de estudio; por un lado, el caso de las cuencas de los Barrancos de San Cristóbal y La Cañadilla (Monteagudo del Castillo), y por otro lado el caso del valle del Barranco de Cabrera (Segorbe). En Túnez nos ceñimos al estudio del sistema *Meskat* en el valle del Oued el Hammam (Sousse).

El cuarto capítulo se dedica a analizar los sistemas de aprovechamiento de escorrentía en los fondos de valle. Desde nuestro punto de vista, forman unos sistemas de transición entre los tratados en el capítulo anterior y los que se ven en el siguiente capítulo, centrado en las boqueras (*mgoud*), en el sentido de que se trata ya de escorrentía concentrada. Para llevar a cabo los objetivos de este capítulo empleamos dos casos en España, los cultivos en fondo de valle en Albánchez (Almería) y los de

Valmadrid (Zaragoza). Y otros dos casos en Túnez, los sistemas de *jessour* en Matmata (Gabes) y en Koutine (Medenine).

El capítulo quinto se centra en el aprovechamiento de las aguas eventuales de las crecidas en los barrancos. Nos referimos a las boqueras en el SE español y a los *mgoud* en Túnez. En España hemos analizado el uso de boqueras en el Levante semiárido en general, y algunos casos de Alicante y Murcia, tanto grandes como pequeños sistemas. En Túnez hemos trabajado los *mgoud* del sector de Belkhir por un lado, como aprovechamiento íntegro del caudal de un barranco, y por otro lado los *mgoud* de Ouarifene, Ahimeur y Bhira, como derivación de una parte del caudal de un barranco.

El sexto capítulo se ocupa de analizar los sistemas de aprovechamiento de aguas principalmente subálveas, las galerías drenantes asociadas a cauces y las norias. En cuanto a las galerías drenantes, del gran abanico disponible, tratamos sólo las que captan aguas de origen subálveo y/o detrítico de materiales aluviales cuaternarios. Para ello hacemos uso de la base de datos del grupo de investigación ESTEPA, del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia, del cual formamos parte, y que dispone de un inventario de las galerías de Túnez, al cual contribuimos a su confección, y un gran muestreo de captaciones en el SE español. En lo que refiere a las norias, las zonas analizadas son la comarca de la Ribera Alta del Júcar, en la provincia de Valencia, y el sector de confluencia del Oued de Siliana con el Río Mdjerda, concretamente en la ciudad morisca de Testour, en la gobernación de Beja. Ambos casos son sectores de norias de ambiente fluvial.

El séptimo capítulo es el de análisis comparado de las técnicas y sistemas que hemos ido estudiando en los capítulos anteriores con las conclusiones finales de la investigación de nuestra tesis doctoral. Y por último, se recogen las referencias bibliográficas que se han utilizado y citado en los distintos capítulos.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN



*Mgoud en pleno funcionamiento en Dkhilet Toujane (Matmata, Gabes).
Fuente: Cortesía de M. Abbassi.*

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Como señalábamos en el apartado 1.1, en este trabajo nos centramos en técnicas tradicionales complejas de modificación y uso de escorrentías superficiales o de captación y uso de aguas subterráneas, desde su doble concepción de riesgo o recurso. Esta doble condición hace que, frecuentemente, las diferentes técnicas empleadas tengan que coexistir. Pero la gestión del agua como riesgo es diferente a su gestión como recurso y, aunque a veces sean ambivalentes, la gestión del riesgo da lugar a otro tipo de técnicas o estrategias.

2.1. LA GESTIÓN TRADICIONAL DEL AGUA COMO RIESGO O RECURSO (R/R)

En este apartado pretendemos, fundamentalmente, reflexionar sobre las claves del sistema precipitaciones-riesgo-recurso desde una perspectiva teórica, centrada en los procesos hidrológicos, y sobre las estrategias básicas de la gestión tradicional de las lluvias como riesgo para, en un segundo apartado 2.2, centrarnos en las técnicas tradicionales de captación del agua, es decir, de su conversión en recurso, que es el tema principal de la tesis.

Para ello, estudiaremos en primer lugar los elementos climáticos similares y diferentes que se dan en el Levante español y en Túnez, y que condicionan la creación de contextos R/R. En segundo lugar, nos centraremos en el proceso hidroclimático clave, que es la conversión lluvia-caudal. Finalmente haremos una exposición de las estrategias básicas y de algunas de las principales técnicas de gestión del agua como riesgo, teniendo en cuenta que algunas de ellas tienen una condición ambivalente.

2.1.1. Contextos de R/R en España y Túnez

Hay dos elementos, ambos de carácter climático, que se unen para crear contextos favorables a la coexistencia de técnicas de riesgo y de recurso en un mismo lugar. Por una parte, la presencia de climas semiáridos, es decir, contextos climáticos en los que las precipitaciones permiten todavía cultivos en secano, pero en la que la escasez estructural de las precipitaciones (aridez), o las sequías, hacen que se valore hasta un grado extremo el agua como recurso. Por otra parte, la torrencialidad de las lluvias, es decir, la presencia de fuertes intensidades minutas, horarias o diarias de lluvia que superen la capacidad de infiltración de los suelos. En Túnez y el Levante español se dan ambas condiciones (climas semiáridos y elevada torrencialidad), debido a que se trata, en ambos casos, de fachadas de un mar interior, el Mediterráneo, que miran a Levante.

La aridez del clima mediterráneo

Un mapa de lluvias del Mediterráneo nos mostraría claramente que las lluvias totales anuales de las zonas del Mediterráneo con clima mediterráneo no desentonan con las de zonas de clima templado húmedo. Lo normal en el clima mediterráneo es que llueva entre 600 y 1.000 mm pero hay núcleos con más de 2.000 mm, es decir, tanto o más que el clima templado oceánico de las llanuras europeas. En Nápoles, por ejemplo, con 863 mm, llueve más que en Burdeos, con 826 mm.

Hay que desterrar el mito de que el clima mediterráneo es seco. Lo que ocurre es que tiene algunos sectores marcadamente secos, como lo son en general las costas que miran al Este: el Este y Sureste de la Península Ibérica, la Apulia, el Sur y Este de Sicilia, la costa tunecina que mira al Golfo de Gabes, y el Ática, principalmente (fig. 2.1). Son las “estepas intramediterráneas”. Por otra parte, el clima mediterráneo es el único en el mundo en que llueve poco o nada en verano y lo hace durante el resto del año. Esta singularidad climática del verano seco también contribuye a la imagen del clima mediterráneo como clima seco. Pero, incluso este rasgo, no es siempre igual de intenso y generalizado. Es el rasgo dominante del llamado “clima heleno” o clima del mediterráneo central y oriental, y también de las zonas no mediterráneas con clima mediterráneo. Pero no lo es tanto del “clima provenzal” o clima del mediterráneo occidental (Viers, 1968).

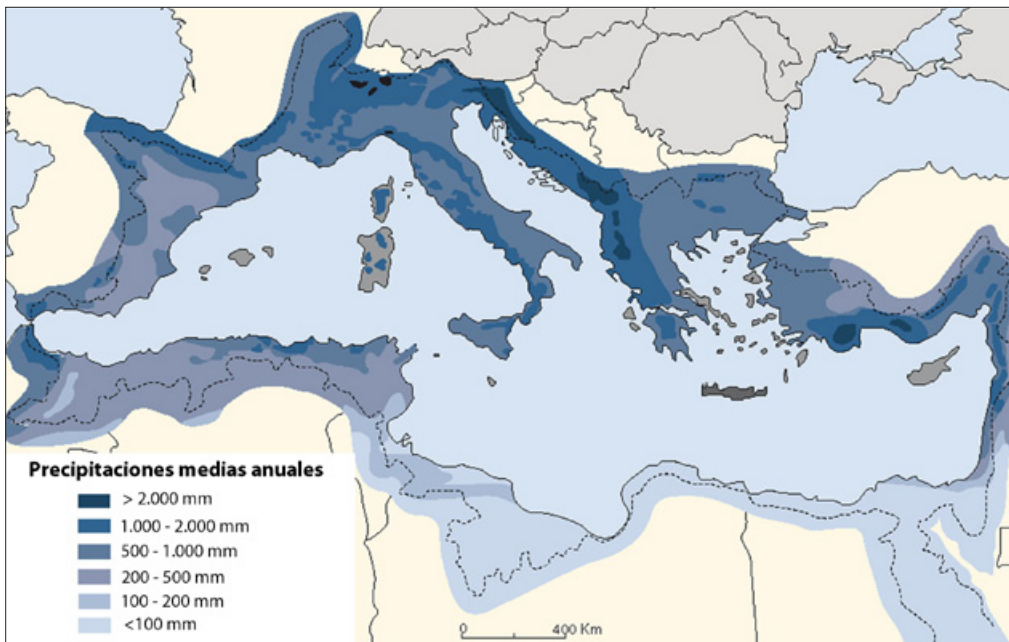


Figura 2.1: Distribución espacial de las precipitaciones medias anuales en el Mediterráneo.

Fuente: Margat (2008, p.24).

La singularidad del clima “provenzal”

El clima del Mediterráneo occidental es singular, tanto en sus rasgos climáticos como en su dinámica atmosférica. Esta última está marcada por la existencia de la zona ciclogénica del Golfo de Génova (y en general todo el Mar Tirreno y Golfo de León), lugar en el que se forman, *ex novo*, o se reactivan sustancialmente, en torno a 60 borrascas al año. Junto a las 14 que se forman al Sur del Atlas, tenemos un total de 74 borrascas mediterráneas que son las que justifican principalmente el carácter lluvioso del mundo mediterráneo (ver fig.2.2). Estas borrascas tienden a viajar hacia el centro y Este del Mediterráneo o hacia Europa, pero difícilmente hacia el Oeste. Se forman principalmente en otoño y primavera: en verano la circulación atmosférica de latitudes medias se traslada hacia el Norte y no afecta apenas al mundo mediterráneo, mientras que en invierno, la persistencia del bloqueo anticiclónico dificulta que se formen estas borrascas. Otro mecanismo de lluvias característico es el de las “gotas frías” (entre 15-20 al año). Esta ciclogénesis, aunque se forma casi todo el año, cuando más efectos pluviométricos tiene es en otoño, al aprovechar la inercia térmica del mar. Todo ello hace que el régimen pluviométrico del Mediterráneo Occidental no sea regular, como el del resto de climas mediterráneos, con máximos en invierno y mínimos en verano, y con transiciones sin altibajos. Aquí se dan regímenes variados, aunque nunca tan regulares. El rasgo más típico sería el de los máximos otoñales.

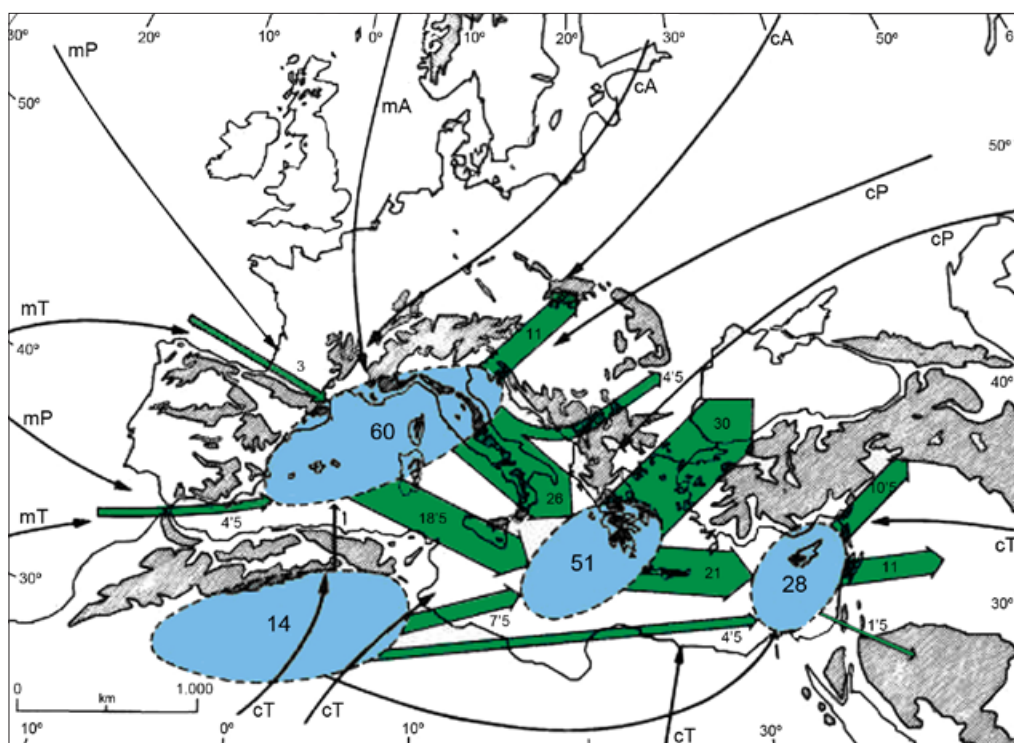


Figura 2.2: Recorrido de las depresiones mediterráneas, con indicación de las frecuencias anuales medias y de los manantiales de las masas de aire.

Fuente: Modificado a partir de “Weather in the Mediterranean” HMSO (1962).

La torrencialidad en el clima del mediterráneo occidental

La torrencialidad de las lluvias es una característica climática que se manifiesta o puede medirse con diferentes parámetros. Podemos definirla a partir de episodios con grandes volúmenes de agua precipitada que producen catástrofes (como hace Poncet, 1970, en su estudio del episodio de otoño de 1969 en Túnez); podemos referirnos a ella a partir de umbrales diarios de precipitación (como se hace en la tesis doctoral de Armengot (2002), en la que se utiliza el umbral de 100mm/día, como punto de partida del análisis); podemos definirla a partir de episodios que hagan funcionar procesos hidrológicos extraordinarios, como umbrales de lluvia a partir de los cuales funcionan los cauces secos (por ejemplo, en Segura, 1990, pp. 66-73 o Camarasa, 1992, pp. 146-147), aun considerando que pueden ser muy variables (entre 35 y 145 mm/día en diferentes ramblas calcáreas mediterráneas), con valores centrados en unos de 60-80mm /día; se puede parametrizar como un índice de concentración diaria de las lluvias (ver Benhamrouche, 2014); se puede considerar desde la perspectiva de la intensidad de la lluvia en franjas minutales u horarias, estudiarla desde sus recurrencias temporales extremas, etc.

Desde muchas de estas perspectivas, el mundo mediterráneo en general, y el Mediterráneo occidental en particular, pueden considerarse contextos bastante torrenciales, pero no en todas las franjas temporales. En la figura 2.3 (Armengot, 1994, p.99) se muestra que la franja temporal en las que los records de torrencialidad valencianos se acercan más a los mediterráneos es la que va de las 6h a las 12 h; en ella estos records mediterráneos se acercan a un 70% de los mundiales, aproximadamente. El mecanismo que desencadena estos registros máximos es el efecto pluviométrico de DANA's (Armengot, 2002). Por la similitud con otros episodios parecidos en comportamiento y valores extremos alcanzados en otros lugares (Guigo, 1973, Poncet, 1970...), podríamos aventurar que es un mecanismo eficiente en todo el Mediterráneo occidental, con límites máximos cercanos o algo superiores a 1000 mm/día.

Ben Sakka y Boughrara (2008, p. 22) analizan la torrencialidad en Túnez desde la recurrencia de las lluvias máximas en 24h, y muestran que, en toda su costa oriental, la que mira la Mediterráneo central, se alcanzan valores máximos superiores a 100 mm/día en 20 años.

Martin Vide (1987, p.72), en su tesis doctoral, muestra que la concentración diaria de las lluvias en el litoral mediterráneo español es variable, con máximos en el S de Valencia y N de Alicante. En la misma línea metodológica, Benhamrouche (2014, pp. 74-76) analiza la concentración diaria de las lluvias en toda la costa mediterránea occidental, incluida la del N de Túnez, y confirma esa variabilidad, a la vez que muestra que, en general, la costa N tiene unos mayores índices de concentración que la africana. Los registros de lluvias extremas en 24 horas apuntan en la misma dirección. En todo caso, aun siendo un concepto difuso y multiparametrizable, y de su

variabilidad espacial y temporal, podemos considerar que es un rasgo característico del territorio analizado en este trabajo, y que implica riesgo. La combinación aridez-torrencialidad es todavía más singular, y explica muchos de los rasgos de ocupación del territorio aquí analizados. Por ejemplo, sin ella no podrían existir los valles con olivos en localidades como Medeninne, con precipitaciones poco superiores a 100 mm y un clima desértico.

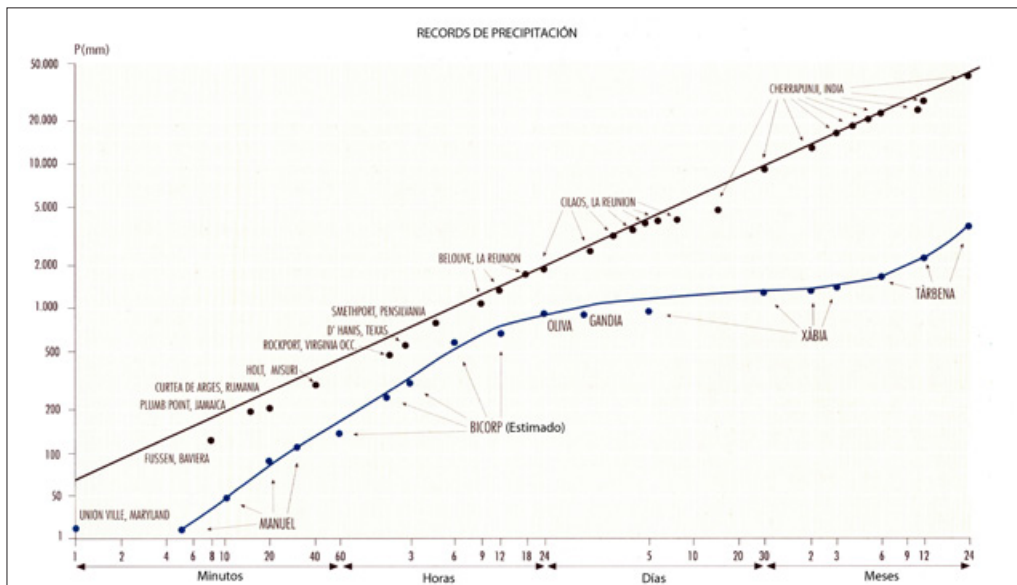


Figura 2.3: Diagrama que muestra las “envolventes” de los records de precipitación mundiales (según Paulhus, 1965, p. 334) y valencianos (Armengot, 1994, p. 99) a diferentes escalas temporales, desde un minuto hasta dos años.

2.1.2. El sistema “precipitaciones intensas-riesgo-recursos hídricos”

En el clima mediterráneo, en especial en el de tipo “provenzal”, el sistema “precipitaciones intensas-riesgo-recursos hídricos” tiene cuatro eslabones básicos:

1- La *génesis de las precipitaciones intensas*, y su especial dependencia de dos factores, el forzamiento sinóptico y la temperatura superficial del mar (SST). Uno de los conceptos claves de este eslabón es el de “*agua precipitable*”

Trzpit (1980, pp.455-457) es de los primeros en abordar con claridad la importancia del agua precipitable como parámetro destacado en la definición de la potencialidad de las lluvias intensas. Respecto a su evaluación operativa, destaca posteriormente la efectuada por Bruegge *et al.* (1992) en el entorno del proyecto FIFE. Más recientemente varias líneas de investigación se centran en su evaluación mediante técnicas de teledetección (Schmid *et al.*, 2001).

Más abundantes son, sin embargo, los estudios que abordan el problema desde el conjunto de factores que se conjugan en las lluvias intensas, tanto los de forzamiento sinóptico, como los orográficos, como las características de las advecciones:

- El grupo dirigido por Agustín Jansa Clar, ha conducido el programa PEMMOC sobre meteorología del Mediterráneo Occidental, con especial atención a los aspectos mesoescalares de las lluvias intensas. (Jansa, Genovés y García-Moya, 2000).
- El canadiense Benoit *et al.* (1997) ha participado en el paso cualitativo de trabajar en la modelización numérica de la totalidad de los eventos de lluvias torrenciales, desde la génesis de la precipitación hasta la escorrentía.
- Alonso (1997) dirigió el programa ANOMALIA, con muy importantes aportaciones sobre el papel de la orografía en los eventos de lluvias torrenciales mediterráneas.

En el entorno del Mediterráneo occidental surgen numerosos análisis, que suelen resaltar una técnica o el papel desempeñado por un elemento concreto de forzamiento en la génesis de las lluvias intensas. Entre ellos podemos citar a Morgenstern y Davies (1997), que extienden la problemática mediterránea hasta Suiza y centran su estudio de un evento de lluvia intensa desde la perspectiva de la vorticidad potencial. Ziv (1997) estudia casos en el norte de Africa y en Próximo Oriente relacionados con anomalías en el chorro subtropical. Estudios recientes como el de Kaspar y Müller (2009) inciden en nuevas técnicas de diagnóstico de las ciclogénesis ligadas a las lluvias intensas mediterráneas.

En el ámbito mediterráneo español se pueden citar numerosos estudios referidos, la mayoría de las veces, a casos torrenciales concretos. Entre ellos, y sólo como muestra de un conjunto de publicaciones mucho más amplio, se pueden citar los de Wheeler y Martín Vide (1988) y Ramis, Llasat y Genovés (1994), sobre las lluvias de octubre de 1987 en Cataluña; Tout, Wheeler y Martín Vide (1990), sobre los episodios del septiembre de 1989 en la fachada oriental peninsular. Más recientemente, cabe destacar las aportaciones de Riesco y Alcover (2003) sobre la predicción de lluvias intensas de origen marítimo en la Comunidad Valenciana y Murcia; Martín León *et al.* (2001) sobre el diagnóstico de la convección profunda en nuestro ámbito; Riesco (2009) sobre las lluvias intensas ligadas a DANA's en Andalucía Oriental, etc.

En cuanto al factor SST, es bien conocido que el calentamiento de la superficie del mar aumenta la energía y humedad disponible en las capas bajas atmosféricas, favorece la ciclogénesis e influye en la génesis de la precipitación. Se han publicado muchos trabajos referidos a diferentes ámbitos geográficos, como los que analizan el impacto de la temperatura superficial del mar (SST), algunos de ellos referidos al ámbito del Mediterráneo occidental (Pastor *et al.*, 2001; Lebeaupin, Ducrocq y Giordani, 2006). La mayoría analizan el impacto de la SST en sucesos concretos y examinan la sensibilidad de los modelos de predicción a los incrementos de la temperatura del mar.

2- Las *características de la precipitación intensa*, en su estructura espacial y temporal, y a diferentes escalas. La esencia de este eslabón es el de la *climatología de la precipitación intensa*, y uno de los conceptos claves es el de “*volúmenes de precipitación*”.

El análisis climatológico de la precipitación intensa mediterránea se ha centrado fundamentalmente en las intensidades y en las frecuencias de los episodios pluviométricos. Tras un primer enfoque meteorológico, de explicación de episodios concretos, de identificación de centros de acción responsables, de caracterización del Mediterráneo Occidental como cuenca ciclogénica proclive a las lluvias intensas, pronto se pasa a enfoques climáticos.

En el Levante español, el episodio de octubre de 1982 da lugar a un primer análisis de conjunto de los grandes temporales de la cuenca del Júcar (Pérez Cueva y Armengot, 1983). Santos Deltell (1991) realiza un completo análisis de las precipitaciones superiores a 200 mm en la provincia de Alicante. En territorios cercanos, como Cataluña, también se dispone de un amplio conocimiento climático de este tipo de episodios pluviométricos (Martín Vide y Llasat, 2000). Este primer autor centró su tesis doctoral, justamente, en las características climatológicas de la precipitación de la franja costera mediterránea (Martín Vide, 1987).

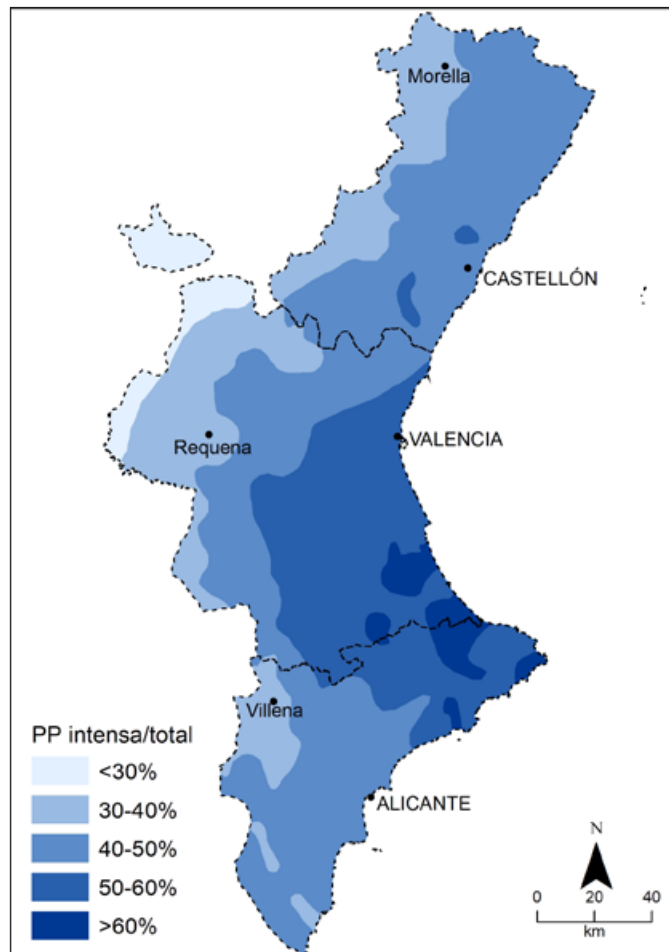


Figura 2.4: Porcentaje de las lluvias intensas (caídas en episodios que alcanzaron más de 100mm/día en algún punto de la Comunidad Valenciana) frente a las totales.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Armengot y Pérez Cueva (1996, p.227).

Menos frecuente ha sido un enfoque climático centrado en las cantidades totales de precipitación, pues desde el primer momento las intensidades (riesgo) han primado frente a los volúmenes (recurso). En Pérez Cueva y Armengot (1983) ya se realiza una aproximación volumétrica a los temporales de la cuenca del Júcar. Esta línea es seguida en Armengot y Pérez Cueva (1996) (fig. 2.4), Armengot (1999) y culmina en la tesis doctoral de este autor (Armengot, 2002). En Morell y Pérez Cueva (2000) se analizan los volúmenes de precipitación intensa para el conjunto de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Paralelamente, algunos autores han seguido esta línea de investigación para relacionar los volúmenes de precipitación caídos en cuencas aforadas con la magnitud de la escorrentía (Palanca, 1999; Morell, 2001, etc), lo que enlaza con el siguiente elemento del sistema.

3- El tercer eslabón es el de la *“conversión lluvia-caudal”*. Es el punto crítico en el que una parte de la masa de agua precipitada se convierte en escorrentía y la otra pasa a formar parte del agua en el suelo o a recargar los acuíferos.

Este elemento del sistema será analizado más extensamente en el siguiente apartado (2.1.3). De momento, solo es necesario señalar que es el eslabón clave en el enfoque de este trabajo, pues es el proceso hidrológico que divide la precipitación en recurso o potencial riesgo. Los sistemas y técnicas aquí analizados persiguen aumentar directamente la conversión de la lluvia en recurso y minimizar la escorrentía superficial. Y en el caso de aguas de escorrentía concentrada, ya con características de riesgo, intentar que parte de ellas vuelvan a recuperar su faceta de recurso (por ejemplo las boqueras).

4- El último eslabón es el de *conversión de la masa hídrica en “recurso hídrico”* tanto de la lluvia como de la escorrentía. Esto se consigue básicamente por múltiples vías, entre ellas la recarga pluvial de acuíferos, la recarga de acuíferos por pérdidas de transmisión de los cauces (ver Segura y Camarasa, 1996), ambas naturales, y la regulación hídrica con embalses superficiales., o todas las técnicas de *“water harvesting”* (WH), que expondremos en el apartado siguiente.

La recarga natural de acuíferos puede complementarse con experiencias de recarga artificial o forzada (fig. 2.5). Estas actuaciones no son algo nuevo en la gestión hídrica de las cuencas fluviales. Las diferentes técnicas empleadas se denominan MAR (*Managed Aquifer Recharge*), el acrónimo más empleado en foros internacionales para la gestión de la recarga artificial de acuíferos. La recarga artificial de acuíferos constituye, junto otra serie de medidas, una herramienta técnica para procurar la adquisición de recursos hídricos, hasta cierto punto marginales (Custodio, 1986; Armayor, Murillo y Martínez, 2001 y Murillo, 2000).

En España hay experiencia desde hace muchas décadas en recarga artificial, si bien los volúmenes de agua implicados hasta ahora no han sido muy significativos. En Cataluña tuvieron lugar quizás las primeras actuaciones españolas, con la escarificación

del lecho del cauce del río Llobregat para estimular la recarga del acuífero del delta, que se llevaba a cabo ya desde 1945, y por inyección en pozos desde 1965. Actualmente se trabaja en una barrera costera de inyección de agua para controlar la intrusión marina en el delta (Sahuquillo, Custodio y Llamas, 2009, p.14).

En el SE español, hay actuaciones de recarga mediante presas de contención en la Sierra de Gádor para recargar el acuífero del campo de Dalías en Almería. También en Andalucía se construyeron zanjas de infiltración en Lebrija (Sevilla) (García-Hernán, 1997). En la cuenca del Duero también hay instalaciones de recarga interesantes en la cubeta de Santiuste (Segovia) (Fernández Escalante, 2002, 2004, Fernández, García y Villarroya, 2005 a y b).

Hay también otros ejemplos en ríos de la cuenca mediterránea andaluza. En López Geta *et al.*, (2001) se citan varias experiencias piloto en el Llano de Palma de Mallorca, aluvial del río Oja, vega de Guadix, acuífero de Carmona y en el aluvial del bajo Guadalquivir (Silgado *et al.*, 2002). Un mayor detalle de estas referencias se puede obtener en Murillo, de la Orden y Rodríguez, 2001, y de la Orden, López Geta y Murillo, 2003.

Algunas de estas experiencias actúan en el campo específico de la utilización de aguas de avenida, pero éste sigue siendo todavía bastante novedoso. Ello es debido en buena medida a las dificultades de utilización de este tipo de escorrentías, muy cargadas de materiales en suspensión y con alto riesgo de colmatar los acuíferos. Pulido Bosch (2007) resume claramente esta problemática.

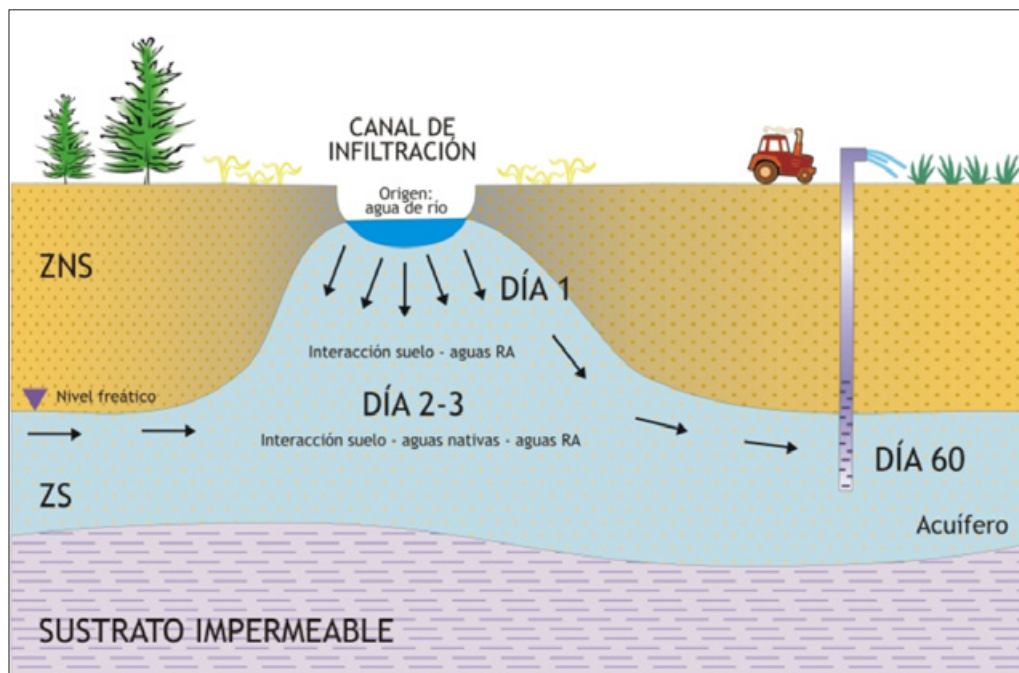


Figura 2.5: Perfil tipo de un dispositivo de recarga artificial (canal) en “control lateral”, en una zona regable. **Fuente:** Fernández Escalante, 2012, p. 4.

En Túnez, la recarga de acuíferos se ha analizado como algo asociado a la construcción de grandes embalses, como el de la presa de El-Haouareb, sobre el Oued Merguellil. El embalse, construido en 1982, modifica las crecidas naturales del *oued*, cuya infiltración constituye la principal recarga de los acuíferos de la llanura de Kairouan (Nazoumou, y Besbes, 2000 y 2001; Nauzoumou, 2002). Al estar ubicado sobre una capa calcárea carstificada, el embalse facilita la infiltración de las crecidas y aporta entre un 21% y un 66% a la alimentación del acuífero calcáreo, y posteriormente a la del acuífero detrítico de Kairouan (Ben Ammar *et al.*, 2006, p.274). Rognon (2001) cita este caso como ejemplo en Túnez, y postula este tipo de actuaciones para desarrollar la recarga de acuíferos en zonas secas.

Smida *et al.*, (2006) han aplicado los sistemas de información geográfica a la recarga artificial de acuíferos en la región de Chaffar, y muestran la potencialidad de los SIG's en la identificación de zonas de recarga inducida.

2.1.3. Conversión lluvia-caudal

La investigación en hidrología de laderas y de cuenca en ecosistemas semiáridos realizada en los últimos 30 años pone de relieve la dudosa aplicabilidad de los modelos de generación de escorrentía clásicos (Horton, Hewlett, Betson, etc). Ya en los años 70 del siglo XX diferentes autores comenzaron a señalar que los ambientes áridos y semiáridos se caracterizan generalmente por una discontinuidad de flujo a escala de ladera (Yair, 1996; Yair y Lavee, 1985).

Así, ante un patrón no uniforme de generación de escorrentía, discontinuidad de flujo y desconexión hidrológica entre partes de la ladera, podemos decir que las laderas en ecosistemas mediterráneos se comportan como un entramado de zonas de generación y zonas de absorción de escorrentía (Bergkamp, Cammeraat y Martínez, 1996), confirmándose una escasa conexión hidrológica (Puigdefábregas *et al.*, 1999) entre las distintas partes de una misma ladera e identificándose dos mecanismos de generación de flujo superficial.

El primer mecanismo involucra la saturación del horizonte más superficial del suelo, y comienza a ponerse en funcionamiento inmediatamente después del inicio de la lluvia. Sin embargo, desaparece tan pronto como la percolación da lugar a tasas más altas de conductividad hidráulica. Este mecanismo depende mucho de la discontinuidad de la precipitación, que en medios semiáridos suele ser grande. Una vez la capa más superficial del suelo se ha saturado, el flujo superficial comienza y, si la lluvia cesa por unos minutos, el suelo superficial es drenado y la escorrentía, se reinfiltra.

El segundo mecanismo identificado hace referencia a la saturación de la capa subsuperficial del suelo. Este mecanismo parece ser decisivo en la conexión hidrológica entre laderas, sin embargo las distancias de conexión dependerán de la rapidez con que el contenido en humedad de la capa subsuperficial del suelo decae

tras la lluvia. Martínez Mena, Albaladejo y Castillo (1998) identifican también estos dos mismos mecanismos de producción de escorrentía en diferentes partes de una misma cuenca: escorrentía por exceso de infiltración u hortoniana, se genera en las zonas con suelos con bajo contenido en carbono orgánico (< 0.5 %) y baja capacidad de infiltración (<5mm/h); y escorrentía por saturación se produce en zonas con un elevado contenido en carbono orgánico (> 2 %), elevada capacidad de infiltración (>8mm/h) y densa cobertura vegetal (> 50 %). La saturación de la superficie del suelo da lugar a una escorrentía por saturación que constituye la máxima contribución a la escorrentía generada en tormentas de baja intensidad.

Por otro lado, la investigación realizada en los patrones de distribución de la humedad de suelo a escala de cuenca (Western, Bloschl y Grayson, 1998 y Fitzjohn, Ternan y Williams, 1998) ha proporcionado una información interesante sobre la distribución en mosaico de la humedad del suelo como reflejo de diferentes características hidrológicas de los suelos. Aparecen zonas aisladas de producción de escorrentía, que promueven una discontinuidad del flujo en la ladera, y también zonas aisladas donde los suelos son capaces de una mayor retención hídrica variable según la profundidad, determinantes en el desarrollo funcional de diferentes tipos de vegetación. La comprensión de este tipo de interrelaciones entre factores hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos puede ser de extrema validez en el desarrollo de estrategias de gestión efectivas.

Todos estos procesos que, a escala de ladera, permiten una estimación experimental bastante ajustada, no son directamente extrapolables al comportamiento de una cuenca, porque existen factores de escala que no están siendo considerados. De hecho, las cuestiones de escala se están demostrando como uno de los temas clave en la investigación hidrológica a nivel mundial. Empezaron a adquirir importancia en los años 80, como lo demuestra la publicación en 1986 de la obra "Scale Problems in Hydrology", y aún siguen presentando importantes aspectos sin resolver (Charles, *et al.*, 2004; Kokkonen *et al.*, 2004; Viney y Sivapalan, 2004).

En el caso de las cuencas mediterráneas, donde abundan las ramblas y cursos de circulación intermitente, este fenómeno es si cabe más evidente, ya que son muy importantes los procesos de fuga en canal o pérdida por transmisión, habida cuenta de las características hidrogeomorfológica de estos sistemas (Cudennec, Leduc y Koutsoyiannis, 2007). Según Schick (1988), en ambientes áridos y semi-áridos los flujos de saturación y subterráneos apenas tienen protagonismo y el flujo de canal está prácticamente determinado por el *overland-flow*, que a su vez es altamente dependiente de la lluvia.

Por todo ello los estudios de conversión lluvia-caudal en ambientes mediterráneos precisan, cada vez más, de balances hídricos en pequeñas cuencas, que, a modo de caja negra, actúen de laboratorio natural. Estos balances se plantean,

de manera empírica, sobre la base de los episodios de lluvia, ya que el hidrograma de respuesta reproduce la estructura de la precipitación (Camarasa y Tilford, 2002).

2.1.4. Estrategias de gestión del riesgo en las precipitaciones torrenciales

Los sistemas de aprovechamiento de agua (*water harvesting*) son estudiados en el siguiente apartado a escala mundial y mediterránea. Tienen como objeto, en general, alterar el funcionamiento del sistema natural lluvia-escorrentía para beneficio del hombre: esta alteración, en todos los casos, tiende a maximizar el recurso y a minimizar el riesgo. La estrategia básica de los sistemas es disminuir la formación de escorrentía e impedir que se concentre.

La primera medida que aplica el hombre en tierras de secano es la de favorecer la infiltración en campos de cultivo, mediante la modificación de las pendientes y/o la labranza. El agua infiltrada es un recurso para las plantas y, generalmente, disminuye el riesgo potencial de erosión. Los estudios de casos de evolución de bancales tras su abandono tienden a mostrar una tendencia a la degradación erosiva (*vgr.* el caso de Petrer, Alicante, analizado por Rodríguez Aizpeolea, 1992). Esta relación, no obstante, es compleja, pues la producción decreciente de escorrentía y sedimento en campos abandonados sólo se muestra clara a escalas temporales largas (Lasanta *et al.* 2010). Además, está controlada por otros factores, como los litológicos: Romero Díaz (2003, p.161-162) muestra que, en el caso de suelos calcáreos, la producción de escorrentía disminuye tras el abandono, mientras que en los suelos margosos aumenta. El factor pendiente también condiciona unos resultados dispares, según sean mayores o menores sus valores (Koulouri y Giourga, 2007, pp. 279-280).

Las técnicas de labranza y nivelación no suelen ser suficientes para anular o disminuir la producción de escorrentía. Cuando esto ocurre entran en juego otras estrategias orientadas a gestionar la escorrentía producida en secano: a) defensas contra la erosión, b) rotura de la conectividad, c) redifusión de escorrentía (derrames). La técnica más elemental es la de proteger los bancales contra la erosión mediante el refuerzo de sus márgenes con taludes vegetados, con piedras o con una combinación de ambas. La conectividad hídrica se ve alterada ya con estas técnicas (Meerkerk, van Wesemael y Bellin, 2009, p.2801), aunque podemos encontrar algunas específicas que buscan diseños para captar toda la escorrentía difusa y evitar que se concentre (como las *tabias*, que generan microembalses autosuficientes, que se desbordan solo en casos extraordinarios) (fig. 2.6). Otro tipo de técnicas buscan favorecer la recreación de la escorrentía difusa, derramando la concentrada mediante rupturas de pendiente.

En casos extremos, o en cuencas grandes, las medidas anteriores son insuficientes, y la escorrentía acaba concentrándose en flujos más o menos voluminosos y violentos. En tales circunstancias, las técnicas tradicionales utilizadas consisten en aprovechar, en la máxima medida de lo posible, estos flujos. Con ello,

aprovechan parcial o totalmente el recurso y reducen el riesgo. La mayor parte de estudios de boqueras, la principal técnica utilizada en esta estrategia, resalta al menos la faceta de aprovechamiento del recurso (riegos). Así es señalado ya en los trabajos pioneros que citan esta técnica en el SE español, como los de Morales Gil (1969), Gil Olcina (1971), etc.

Otra técnica de gestión de la escorrentía superficial es el aprovechamiento de la escorrentía concentrada para recarga forzada de acuíferos, tanto a escala de grandes embalses como de pequeñas cuencas de captación. En todo caso, sin descartar que pueda tratarse de una técnica tradicional (como los “careos” de las Alpujarras, sierra de Gádor) (Fernández Escalante, García Rodríguez y Villarroja Gil, 2006) es una técnica con un desarrollo mucho más moderno y todavía incipiente, que ha de salvar la dificultad de impedir que se inyecten también los sedimentos finos arrastrados por la arroyada.



Figura 2.6: *Tabia* con agua embalsada tras un episodio de lluvias intensas en el sur tunecino.
Fuente: Cortesía de M. Abbassi.

2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA EN EL MEDITERRÁNEO

Durante la historia de la humanidad las civilizaciones han ido acumulando conocimiento, mediante la experimentación y el esfuerzo. Los saberes tradicionales ligados a la gestión de los recursos y al control del territorio constituyen un patrimonio cultural acumulado de técnicas, útiles, estrategias y soluciones, que si bien nos parecen rudimentarias implican sofisticación. La indivisible relación entre naturaleza y sociedad se hace patente en el acervo de soluciones técnicas tradicionales, para acomodarse al medio. Los sistemas de aprovechamiento del agua y del suelo de la región mediterránea

son uno de esos conocimientos tradicionales, al estar vinculados a la gestión de los recursos territoriales, al control de las emergencias medioambientales o al manejo de las catástrofes naturales.

La escasez hídrica se sitúa entre los principales problemas a los que se enfrentan muchas sociedades. Se habla de escasez hídrica cuando la disponibilidad de agua en un espacio geográfico está por debajo de los 1.000 m³/persona/año, si bien es cierto que existen lugares con una menor disponibilidad (Pereira, Cordery y Iacovides, 2009, p.1). En ciertas regiones el suministro de agua es inferior a 500 m³/persona/año.

La escasez hídrica genera importantes problemas para la población y las sociedades. Limita las actividades industriales, urbanas y turísticas, las cuales entran en conflicto con la agricultura. Algunos trabajos señalan que más del 60% de la población mundial sufrirá escasez hídrica en el año 2025 (Qadir *et al.*, 2007, p.2). Pero las limitaciones de agua no son el único problema hídrico. También lo es la irregularidad en su disponibilidad. Además, las precipitaciones se presentan muchas veces como eventos extremos, y en una misma zona podemos tener periodos de inundaciones y después largas sequías. En la región mediterránea, si bien eran los países del sector oriental y del norte de África los que experimentaban los mayores problemas de abastecimiento de agua, esta contrariedad empieza a ser patente en otros países de la región (Allan, 2001, p.57).

La problemática de unos recursos hídricos exigüos no es reciente. Así lo demuestra el rico patrimonio hidráulico presente en toda la cuenca mediterránea. En ella, las condiciones ambientales han impulsado al desarrollo de estrategias para un mejor aprovechamiento de la lluvia y de las escorrentías. Los conocimientos vinculados al abastecimiento y distribución del agua son los más extendidos, pero los referidos a la ordenación del espacio geográfico y al cultivo también guardan una estrecha relación con la gestión hídrica (Laureano, 2005). La Historia muestra cómo el éxito de grandes civilizaciones y la supervivencia de comunidades más pequeñas, se fundamenta en la captación precisa y correcta gestión del agua. La recolección de agua para la agricultura implica recoger el agua de lluvia que fluye desde un área de captación, conducirla, almacenarla y utilizarla en un área cultivada, que generalmente es más pequeña que el área de captación (Boers y Ben-Asher, 1982, p.146).

En el ámbito mediterráneo, el clima, relieve y suelos han marcado la manera de ocupar y organizar el territorio. Ya desde la Antigüedad las comunidades vienen manejando las adversidades climáticas, topográficas y edáficas para hacer posible los asentamientos estables y hacer viable un uso racional del territorio (Hernández y Morales, 2013, p.106). El clima mediterráneo ha garantizado un “hábitat térmico” adecuado para el ser humano, pero no un “hábitat hídrico”. Las precipitaciones se distribuyen de manera irregular a lo largo del año, existiendo meses donde son exigüas o inexistentes, o episodios de lluvias torrenciales. Esta realidad climática

afecta a la vegetación y a los suelos (procesos de erosión), por lo que el ser humano ha tenido que desarrollar el conocimiento y las técnicas que le permitieran asegurar el abastecimiento hídrico, luchar contra la erosión, mejorar la fertilidad de los suelos y cohesionar a la comunidad local (Oweis, Hachum y Kijne, 1999).

En la región mediterránea, especialmente en aquellas áreas donde el clima se torna semiárido e incluso árido, la escasez de agua es el principal factor limitante para la agricultura (Oweis y Hachum, 2006, p.13). En las zonas áridas, las precipitaciones no suelen ser suficientes para sostener un cultivo (Huibers, 1985, p.139), mientras que en las zonas semiáridas la precipitación media anual podría parecer ser suficiente para cultivar. No obstante, su variabilidad a lo largo de los años y su distribución errática durante la temporada, no garantiza el éxito de la actividad agraria. El modo en que tienen lugar las precipitaciones hace que, incluso cuando la cantidad de lluvia es suficiente desde un punto de vista agronómico, parte de ella pueda perderse como escorrentía superficial antes de alcanzar la zona radicular de los cultivos. Unas altas intensidades durante los episodios de lluvias, y unos suelos desprotegidos y con una capacidad de infiltración deficiente, provocan que se produzcan escorrentías superficiales.

Maximizar la productividad del agua, y no tanto el rendimiento del suelo, es lo más oportuno en las zonas donde predomina la agricultura de secano. Esto nos lleva a adoptar nuevas técnicas de gestión del agua, más eficientes (Oweis y Hachum, 2006, p.13). Se habla de “cosecha de agua”, “recolección de agua”, “recogida de agua”, o *water harvesting* en inglés, en referencia a los principios, pero también al conjunto de técnicas y artefactos, que propician la recogida del agua. La recolección y conducción del agua hacia los campos, junto con una adecuada selección de los cultivos y de prácticas culturales, pueden mejorar la agricultura (fig. 2.7).

Los conocimientos tradicionales de gestión del agua y del suelo no pueden reducirse a una relación de respuestas técnicas, empleadas para resolver problemas particulares, sino como un procedimiento complejo y polifuncional que forma parte de un enfoque integrado. Por ejemplo, el desarrollo del *meskat* en Túnez pretende modular la erosión, acumular suelos y captar agua, derivándose la técnica de un estilo de organización social y de un sistema de valores compartido (Prinz, 1996; Laureano, 2005).

Los sistemas de aprovechamiento del agua son un testimonio material e inmaterial de la gestión social de la escasez hídrica. Dicha gestión, que se materializa fundamentalmente en los complejos de irrigación, ha permitido a lo largo de la historia el progreso y crecimiento demográfico de los pueblos de la cuenca mediterránea.

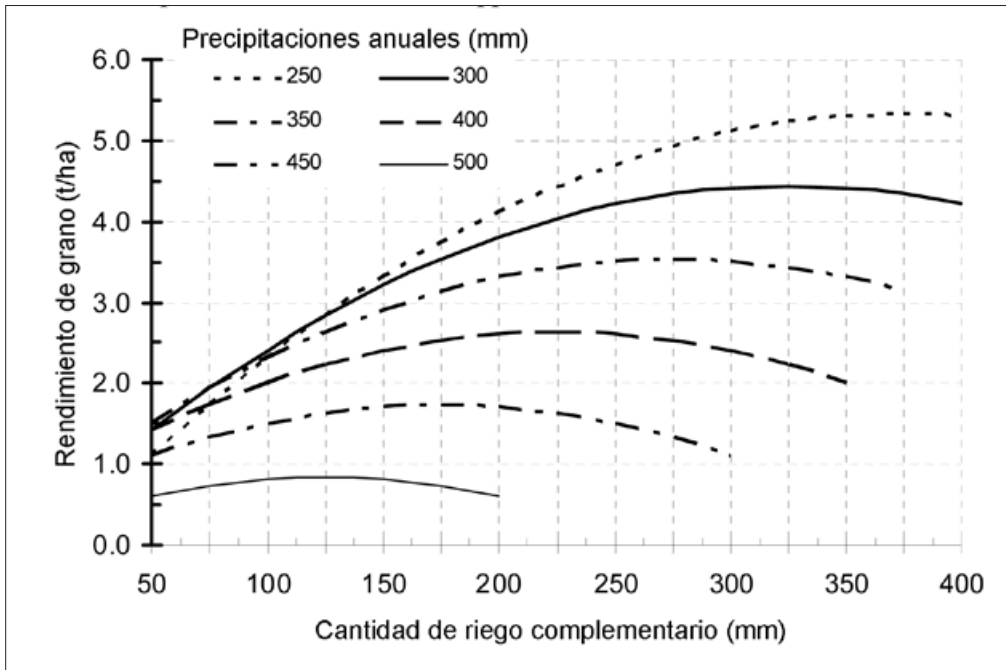


Figura 2.7: Comportamiento del rendimiento de la producción de trigo en Siria, en función de la cantidad del riego complementario (por *water harvesting*), bajo diferentes escenarios de precipitaciones medias anuales.

Fuente: Oweis y Hachum (2006, p.8), a partir de Oweis (1997).

2.2.1. El *water harvesting*

A- CONCEPTO

La revisión bibliográfica sobre gestión hídrica en medios semiáridos y áridos nos muestra que los trabajos emplean una amplia variedad de términos para referirse a la captación y manejo del agua de escorrentía para abastecer a las comunidades locales y para hacer más rentable las actividades agropecuarias. El término anglosajón que más se repite en la literatura especializada es el de *water harvesting*, que literalmente hace referencia a la “cosecha de agua” y al concepto más apropiado de “recolección de agua” (Prinz, 1996).

La “cosecha de agua”, *water harvesting* o proceso de captación de agua hacen referencia al procedimiento mediante el cual el agua de lluvia, de escorrentía superficial y de escorrentía subsuperficial, es aumentada, recogida, aprovechada, o almacenada y reaprovechada, mediante algún tipo de artefacto o dispositivo (Beckers, Berking y Schütt, 2013, p.146). Se fundamenta en el principio de que, aunque la precipitación disponible sea insuficiente para garantizar el abastecimiento, el hecho de habilitar una parte del territorio como zona de recepción y concentración del agua precipitada garantizará un suministro suficiente para posibilitar el crecimiento de los cultivos (fig. 2.8).

El *water harvesting*, generalmente, se emplea como un término genérico que describe una amplia gama de métodos para recolectar y concentrar diversas formas

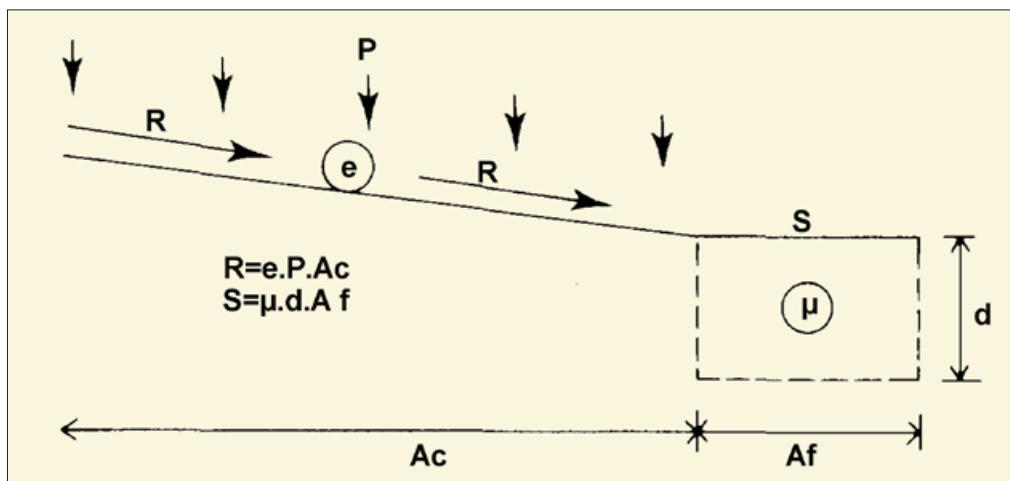


Figura 2.8: Diagrama que muestra los factores que determinan la escorrentía superficial desde el área de captación y el almacenamiento de agua recolectada. Ac: tamaño del área contribuyente (m^2), Af: tamaño del área de recolección (m^2), P: intensidad de la lluvia (m), d: profundidad de almacenamiento (m), e: coeficiente de la escorrentía, μ : coeficiente de almacenamiento, R: volumen de escorrentía (m^3), S: volumen de almacenamiento (m^3).

Fuente: Boers y Ben Asher (1982, p.151).

de escorrentía (escurrimiento desde las azoteas, flujo superficial, flujo de la corriente, etc.), desde diversas fuentes y para diversos fines (agrícolas, ganaderos, domésticos y otros). Según Myers (1975), Geddes introdujo el término en 1963 y lo definió como la “recolección y almacenamiento de cualquier agua, ya sea de escorrentía o arroyo, para el riego”. El propio Myers (1967) definió *water harvesting* como “la recolección y el almacenamiento de cualquier forma de agua para usos de riego”. Incluso puede ampliarse el concepto no solo a su empleo en la agricultura, sino también a la ganadería, la repoblación forestal o el abastecimiento a poblaciones humanas (Mongil, 2008).

Worm y Hattum (2006, p.13) lo definen como el proceso de recolección de agua circulante por la superficie del suelo o de la caída sobre los tejados para el abastecimiento del hogar, para la agricultura y para la gestión del medio ambiente. Pero también podemos considerar definiciones más genéricas, como la de “concentración de escorrentía para su aprovechamiento”. El trabajo de Rockström *et al.* (2007) y el de Oweis, Prinz y Hachum (2012) parten de este postulado.

En el 2º Foro Árabe del Agua “*Living with Water Scarcity*”, Prinz explicó que el propósito del *water harvesting* es la recuperación y concentración de lluvia y escorrentía, y su uso productivo para el riego de cultivos hortícolas, arbolados y de pastos, para el consumo doméstico y ganadero, y también para la recarga agua subterránea (Prinz, 2011).

Estas y otras definiciones demuestran que la escorrentía superficial es el factor clave en el *water harvesting*. En la actualidad, el interés por el *water harvesting* se ha incrementado. Especialmente se investiga su relevancia para la producción agrícola (Reij, Mulder y Begemann, 1988, p.64).

En la presente tesis doctoral nos centramos fundamentalmente en la recolección de agua destinada para la producción agropecuaria. Es por ello por lo que las revisiones bibliográficas y énfasis se centrarán principalmente en las definiciones y la terminología utilizadas en este contexto. Sin embargo, hemos de señalar que el *water harvesting* ha trascendido el campo de la producción primaria o de abastecimiento humano, pues las técnicas también se utilizan para ayudar a la repoblación forestal y revertir el proceso de desertificación (Mongil, 2004 y Mondéjar, 2009).

B- APUNTES HISTÓRICOS

Ya las civilizaciones antiguas dependían de sistemas sofisticados de gestión del agua. Las obras de ingeniería hidráulica encontradas en la Región Mediterránea, Próximo Oriente y Asia son particularmente llamativas, porque se trata de regiones que experimentan escasez hídrica. Sin la gestión del agua, ciudades antiguas y sociedades jamás habrían podido prosperar. La “domesticación” del agua marcó un punto de inflexión en la trayectoria cultural de estas regiones.

A principios del siglo XX, el principal objetivo de las agencias de conservación era controlar la erosión, con el objetivo de reducir la pérdida de suelo. La recolección de escorrentía, concebida como parte de algunas prácticas de conservación del suelo, era considerada un efecto secundario cuyo potencial permanecía desconocido a nivel académico. En la década de los 70, los graves problemas de sequía experimentados en África hicieron tomar conciencia de la necesidad de poner en valor las estrategias y técnicas de aprovechamiento del agua de lluvia y de escorrentías efímeras. Esto motivó que, desde los años 80 hasta finales del siglo XX, se hayan incrementado los proyectos de investigación y publicaciones científicas sobre la temática (Mekdaschi y Liniger, 2013, p.5). Estamos en una etapa de puesta en valor de las técnicas tradicionales de gestión hídrica por escasez.

Desde principios del siglo XX, los investigadores han trabajado en poner de manifiesto la importancia de la gestión del agua en el desarrollo de las sociedades. Wittfogel (1957, p.221) defiende la idea de que las grandes sociedades estatales en Asia se fundamentaban en la construcción de sistemas de regadío a gran escala, que eran la base de un gobierno de tipo despótico. Ahora, sin embargo, se defiende la idea de que la variedad de métodos de manejo del agua aumenta la complejidad de relaciones con la tierra y, por tanto, el trabajo y el peso del mundo rural (Scarborough 2003). Por ejemplo, actualmente en China la recuperación del agua es considerado como un aspecto fundamental en la reducción del éxodo rural y en el control de la fuerte erosión del suelo (Mekdaschi y Liniger, 2013, p.5).

En el Mediterráneo y Próximo Oriente, las técnicas de *water harvesting* fueron fundamentales en la consolidación de los asentamientos humanos. Varias técnicas evolucionaron durante la Edad de Bronce o incluso antes (Beckers, Berking y Schütt, 2013, p.146), muchas continúan en activo en la actualidad, mientras que otras han

sido abandonadas, como muestran los restos arqueológicos. El hecho de que se haya documentado una variada tipología de métodos de suministro de agua es una muestra de cómo, en función de las características geográficas específicas de cada zona, se ha ido produciendo una adaptación de las técnicas.

Se piensa que las técnicas del *water harvesting* son originarias de Irak, hace más de 5.000 años, área geográfica cuna de la actividad agrícola (Falkenmark *et al.*, 2001, p.8). También se han hallado indicios de su aplicación en la India y en China, hace más de 4.000 años (Prinz, 1996). El motivo principal del desarrollo de este conocimiento tradicional fue la ausencia de fuentes regulares para el abastecimiento de agua superficiales y subsuperficiales. En el sur de Jordania y en el sudeste de Mesopotamia también se han hallado restos de más de 5.000 años de antigüedad, destinados a la captación de agua (Oweis, Prinz y Hachum, 2001). Por su parte, la actividad agrícola en el Negev, basada en la captación de las escorrentías efímeras, se remonta al siglo X a.C. En Yemen se han hallado vestigios de un sistema que data de al menos 1.000 a.C., basado en el desvío de agua de escorrentía para irrigar 20.000 ha. En el sur de Tihama (Yemen) el *water harvesting* se utilizó tradicionalmente para la producción de sorgo, mientras que en Baluchistán (Pakistán) los sistemas de Khuskaba y Sailaba han perdurado y todavía se usan en la actualidad (Oweis, Prinz y Hachum, 2001; Oweis, Hachum y Bruggeman, 2004). En América del Norte, la agricultura de los indígenas ubicados en las regiones semiáridas del continente, también dependía de métodos simples de recogida de agua de escorrentía efímera.

C- PRINCIPIOS BÁSICOS

Como ya hemos visto arriba, la revisión bibliográfica sobre el *water harvesting* permite observar puntos de encuentro y divergencias entre los investigadores. No obstante, existe un consenso general en la literatura en que los siguientes factores, fundamentos o principios son característicos del *water harvesting*. Según Reij, Mulder y Begemann (1988, p.8):

1. Se trata de un concepto que hace referencia al conjunto de técnicas que se aplican en regiones áridas y semiáridas, donde la escorrentía a menudo tiene un carácter intermitente. Debido a lo efímero del flujo, el almacenamiento es una parte integral de los sistemas de recolección de agua (Boers y Ben-Asher, 1982, p.146).
2. Se basa en la utilización de la escorrentía superficial, y requiere una zona de producción de escorrentía y un área de recepción de escorrentía (Bruins, Evenari y Nessler, 1986). No obstante, también se amparan bajo este concepto las aguas subterráneas captadas, como en el caso de los *qanats* o *foggaras*.
3. La mayoría de los sistemas de recolección usan el agua captada en el entorno inmediato a la zona de recepción del agua de lluvia (Matlock y Dutt, 1986). Por lo tanto, no incluyen el almacenamiento de agua del río en grandes reservorios o la extracción de aguas subterráneas profundas (Boers y Ben-Asher, 1982, p.146).

4. Los sistemas de captación de agua son operaciones a pequeña escala en términos de área de captación, volumen de almacenamiento e inversión de capital (Boers y Ben-Asher, 1982, p.146).

El *water harvesting* debe ser considerado como una parte integrante de la gestión sostenible del territorio y de los recursos naturales: suelos, agua, animales y plantas (Mekdaschi y Liniger, 2013, p.5). El principio básico es contar con más agua que la que genera la lluvia en la parcela de cultivo. Es necesario dedicar una parte de la superficie del terreno a la generación y organización de la escorrentía. En general, cualquier sistema de recolección de agua consta de dos partes absolutamente imprescindibles: un área de impluvio o captación, donde se genera escorrentía, y un área de recepción, en la que se recibe la escorrentía y se almacena, ya sea en el suelo (mediante infiltración) o en depósitos (cisternas, aljibes, estanques, etc.). No obstante, otros autores matizan esto, indicando que un sistema de recolección de agua tiene cuatro partes, como se explica en el siguiente apartado.

Una reciente aproximación novedosa a la conceptualización de los principios básicos del *water harvesting* es lo que Steenberg y Tuinhof (2009) han denominado “aproximación 3R” (“Retención”, “Recarga” y “Reutilización” de los recursos hídricos), fundamentada en la “capacidad de amortiguación del agua”. Se trata de fortalecer los procesos naturales de almacenamiento del exceso de agua, en superficie y en el subsuelo, para un uso productivo y para lograr beneficios ambientales.

D- COMPONENTES

Los componentes básicos de un sistema de recolección de agua son un área de captación o recolección, el sistema de conducción de las escorrentías efímeras, los elementos o zonas destinadas a la acumulación y almacenamiento del agua, y un área de uso (Mekdaschi y Liniger, 2013, pp. 5-6) (fig. 2.9).

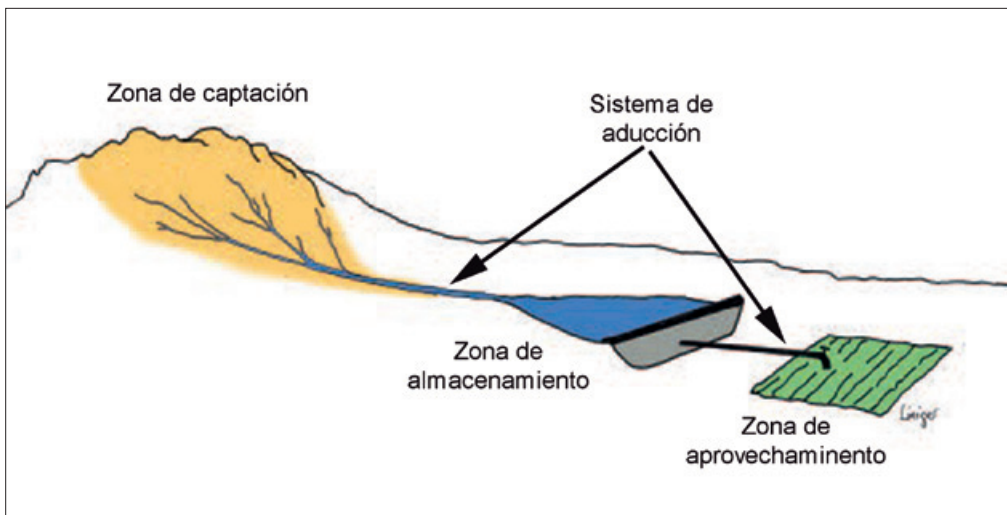


Figura 2.9: Principales componentes de un sistema de recolección de agua.

Fuente: Mekdaschi y Liniger (2013, p.6).

En algunos casos, todos estos componentes son adyacentes entre sí, mientras que, en otros casos, están conectados por un sistema de conducción o transporte (red de canales). Las áreas de almacenamiento y uso también pueden ser las mismas, por ejemplo, cuando el agua se concentra en el suelo para el uso directo de las plantas o cultivos. Siguiendo a estos autores:

1. El área de captación o recolección es donde se recoge la lluvia como escorrentía. Su escala puede ser muy variada y el tipo de material también (techos, caminos, áreas rocosas, pastizales, otras tierras cultivadas...).
2. El sistema de conducción de agua está formado por sistemas de concentración y conducción de la escorrentía (canaletas, tuberías, acequias...)
3. Los elementos y zonas de acumulación son los lugares donde el agua cosechada se almacena hasta su uso (como humedad del suelo, estanques, balsas, depósitos, cisternas, aljibes... o incluso en la capa freática) (fig. 2.10). Las escorrentías captadas pueden ser desviadas directamente a los campos de cultivo, con lo que el área de uso y de acumulación coinciden.



Figura 2.10: Aljibe para el almacenamiento de la escorrentía superficial en Agost, Alicante.

Fuente: Autor.

4. La zona de uso es la superficie donde el agua recogida es utilizada (para usos agrícolas, ganaderos o humanos).

En general, el área de captación conviene que tenga suelos arcillosos, con baja infiltración, mientras que en los lugares de aplicación son deseables los suelos profundos, con una alta infiltración y capacidad de almacenamiento de agua.

A pesar de las diferentes técnicas o métodos de *water harvesting*, todos ellos tienen tres características en común (Boers y Ben-Asher, 1982, p.146; Mongil, 2004, p.33):

- a- Se aplican en regiones áridas y semiáridas, donde la escorrentía tiene un carácter intermitente. Debido a lo efímero del flujo, el almacenamiento es una parte integral de la recolección de agua.
- b- Se fundamentan en la captación de agua del entorno inmediato, por lo que no incluye el almacenamiento de agua en grandes embalses o la extracción de aguas subterráneas profundas mediante sondeos.
- c- Son infraestructuras de dimensiones contenidas, de modo que el área de captación es reducida, al igual que la cantidad de agua que se capta y la inversión de capital que se efectúa.

2.2.2. Clasificación de sistemas de *water harvesting*: criterios y tipologías

La clasificación de los sistemas de recolección de agua del mundo tiene grandes dificultades: por un lado, por lo complicado de definir los parámetros básicos que identifican una técnica respecto a otra y, por otro lado, porque las técnicas conviven en el tiempo, a veces en el espacio, y son usadas conjuntamente en multitud de casos por los agricultores. (Perdomo, 2003, p.51).

Entre los diferentes criterios para clasificar las técnicas de recogida de agua presentadas arriba, la bibliografía señala como fundamentales: 1- el origen de la fuente de agua y tipo de captación, 2- el tipo de uso que se le da al agua, 3- la capacidad de recarga; y 4- el contexto medioambiental. De ellos, los dos criterios más frecuentemente utilizados son el tipo y cantidad del agua captada, y el método de almacenamiento del agua.

2.2.2.1. Según orígenes del agua

Seguidamente, se efectúa una caracterización de las diferentes zonas de recogida de agua y de las técnicas que se utilizan. Existen técnicas que, en función de la escala o tamaño pueden quedar clasificadas, dentro de un grupo u otro. Además, prácticas y estructuras similares pueden tener diferentes nombres (nombres locales) en diferentes regiones, por ejemplo, *tassa y zai*; *limans* y *tabias* (Mekdaschi y Liniger, 2013, p.7).

Siquiendo a estos autores, podemos distinguir:

1. Captación de aguas de crecida:

Hace referencia a la captación y almacenamiento de un flujo de agua efímero, para su conducción hasta los campos de cultivo. Sus características más destacadas son que el flujo de agua se recolecta utilizando la inundación natural, desviando las aguas, o disponiéndolas en reservorios (fig. 2.11).



Figura 2.11: *Mgoud* en pleno funcionamiento en Dkhilet Toujane, Gabes.

Fuente: Cortesía de M. Abbassi.

Se pueden identificar dos prácticas:

- Derivación y conducción de las aguas de inundación fuera del cauce (boqueras, riego de turbias...)
- Recolección de agua de inundación en el lecho del río (con diques que capturan tanto sedimentos como las aguas). El flujo de agua es represado y se ve obligado a infiltrarse.

2. Macrocaptación de escorrentías de aguas pluviales:

Se trata de recolectar la escorrentía de un área de captación natural, como puede ser una ladera para derramarla sobre el área de producción o almacenarla. Estos sistemas suelen tener aliviaderos para que las aguas sobrantes puedan circular, aguas abajo, hacia la siguiente parcela. La recogida de aguas subterráneas está incluida en esta tipología, aunque también podrían clasificarse como captación de aguas de crecida.

3. Microcaptación de escorrentías de aguas pluviales:

Incluyen todo tipo de técnicas para recolectar la escorrentía desde áreas de captación pequeñas, contiguas a la de uso directo, normalmente en la misma parcela. El sistema se replica varias veces de acuerdo con el mismo modelo.

Estos métodos de captación tienen la ventaja de ser sencillos de instalar, fáciles de reproducir y, además, a un coste bajo. Estas técnicas se aplican en sistemas en los que el área de captación tiene menos de 100 m de longitud (Boers y Ben-Asher, 1982, p.148), incluso con pendientes mínimas o terrenos prácticamente llanos. Apenas se producen pérdidas durante el transporte (Prinz, 1996).

Las distintas estrategias de microcaptación son:

- a- Generar un reborde más elevado para frenar la escorrentía superficial y favorecer la infiltración.

- b- Disponer diques semicirculares, trapezoidales o en forma de V, de forma escalonada, permitiendo que el agua excedente se escape por los extremos
- c- Captar el agua en microcuencas separadas de las de uso. Es una técnica (*meskat*) utilizada en Túnez, semejante al “khushkaba” de Balochistán (Pakistan) (Oweis, Prinz y Hachum, 2001).
- d- Existen otras técnicas de microcaptación, para usos normalmente no agrícolas, como recoger agua desde los tejados y almacenarla en cisternas bajo tierra, “atrapanieblas” (recogida de agua de condensación), etc.

Entre el 80-85% de la lluvia caída sobre los tejados puede ser recolectada y almacenada (Oweis, Prinz y Hachum, 2012), para consumo de boca, especialmente donde no hay abastecimiento de agua potable (Worm y van Hattum, 2006, p.31).

2.2.2.2. Según usos del agua y según capacidad de recarga

Atendiendo a los usos que se le da al agua captada también se han propuesto clasificaciones. Matlock y Dutt (1986) indican que los sistemas de recolección de agua se pueden clasificar según su principal propósito de uso: sistemas de producción de cultivos, sistemas de producción de forraje, sistemas de agua domésticos y de ganado, y sistemas de conservación.

Otra manera de clasificar las prácticas de *water harvesting* es en función de la capacidad de recarga, pudiéndose distinguir: 1- Recarga y almacenamiento de aguas subterráneas (como las técnicas conocidas por MAR, *Managed Aquifer Recharge*). 2- Conservación de la humedad del suelo en la zona de la raíz (como en los *jessour*). 3- Almacenamiento en tanques cerrados. 4- Almacenamiento abierto de agua superficial (pequeños embalses, albercas, etc.). Prinz (1999, p.154) realiza una clasificación de las técnicas del *water harvesting* en función de su capacidad de recarga, considerando las técnicas de cultivo de fondos de valle y las de derivación de caudales de un curso fluvial entre las de mayor capacidad de recarga. Considera que las macrocaptaciones y las microcaptaciones son de capacidad de recarga limitada o muy limitada, respectivamente.

Cada una de estas estrategias tiene sus fortalezas y debilidades. En general, la capacidad de recarga y acumulación aumenta a medida que se pasa del almacenamiento de pequeña a gran escala, o de superficie al suelo o subsuelo.

2.2.2.3. Según contextos ambientales

Otra manera de clasificar las prácticas de *water harvesting* es a partir de los contextos ambientales. Bruins, Evenari y Nessler (1986) basan su clasificación de los sistemas en las condiciones geomorfológicas de cada ambiente. En su trabajo diferencian y describen cinco sistemas, comenzando con el sistema de escala geomorfológica más pequeña. Distinguen entre:

- Sistemas de microcaptación en ladera (con distancias entre el área de captación y la de producción inferiores a 100 m).
- Sistema de *oued* aterrizado (en ambientes de cauce o vaguada).
- Sistema de captación en amplias laderas (con el agua de escorrentía dirigida por medio de canales hasta los campos de cultivo o depósitos de almacenamiento).
- Sistema “*Liman*” (represas con aliviaderos en las zonas bajas de cauces o vaguadas)
- Sistema de derivación de escorrentía desde el curso intermitente, elevadas en el cauce y conducidas con boqueras.

Una de las clasificaciones que mejor se ajustan al enfoque a los ámbitos geomórficos donde se captan/aprovechan las aguas, es la elaborada por Mondéjar (2009, p.64). En ella diferencia entre dos grandes grupos de técnicas: aprovechamiento de la escorrentía difusa, que incluye riegos de vertientes y boqueras de ladera, por un lado, y aprovechamiento de la escorrentía concentrada, por otro lado, que, a su vez, recoge los cultivos de fondo de valle y la derivación de caudales de un cauce (de forma parcial o íntegra) para el riego de los cultivos.

2.2.2.4. Una síntesis de clasificación adaptada

Una vez revisados los diversos modos en que la bibliografía tipifica o clasifica el *water harvesting*, efectuamos una síntesis de clasificación (fig. 2.12) fundamentada en diversos criterios.

Esta clasificación no pretende solucionar ninguna carencia, ni aplicar ningún criterio nuevo, ni abarcar todos los sistemas existentes. Únicamente pretende adaptarse al estudio comparado que se ha realizado en este trabajo, en buena medida como ejercicio previo de conceptualización de las dos realidades de *water harvesting*, la tunecina y la española (aunque podría aplicarse a otros espacios mediterráneos).

En ella se conjuga el criterio de uso en un primer nivel, el de abastecimiento de agua para personas y animales (cisternas, aljibes, aguas potables de *foggaras*...) y el agropecuario (cultivos, pastos...). En un segundo nivel se aplica el criterio ambiental distinguiendo entre sistemas de escorrentía difusa en laderas o glaciares, de escorrentía concentrada en cauces, de agua en el subsuelo o de construcciones antrópicas.

Los diferentes sistemas que surgen se caracterizan (colores) en función de otros criterios: escala o tipo de almacenamiento.

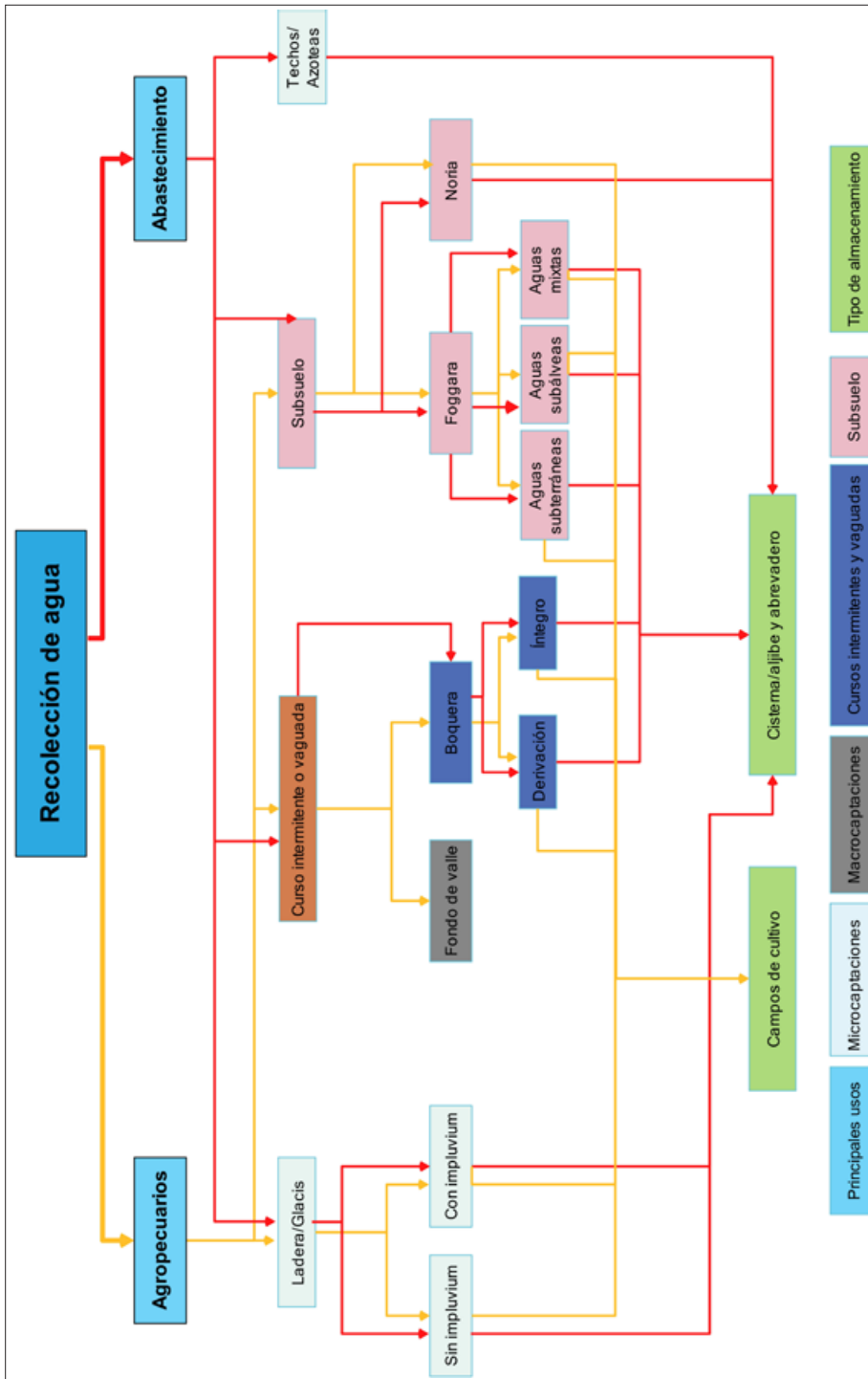


Figura 2.12: Clasificación de las técnicas tradicionales de recolección de agua.
Fuente: Elaboración propia sintetizando aportaciones de Reij, Mulder y Begemann, 1988; Prinz, 1999; Oweis, Prinz y Hachum, 2001; Abdo y Eldaw, 2004; Mondéjar, 2009; Hernández y Morales, 2013; Mekdaschi y Liniger, 2013 y Beckers, Berking y Schütt, 2013.

2.2.3. Principales técnicas de *water harvesting* en SE español y Túnez

2.2.3.1. La tradición del *water harvesting*

En España, exceptuando la franja septentrional con clima oceánico, las condiciones climáticas de tipo mediterráneo hacen que no siempre se cuente con la disponibilidad de agua necesaria. Ello ha hecho que desde antiguo se hayan buscado estrategias para gestionar la escasez hídrica, de manera que existe una importante tradición en la recolección de agua o *water harvesting*.

Esta gestión de la escasez hídrica se manifiesta en el paisaje, porque las prácticas o técnicas destinadas a maximizar el aprovechamiento de las aguas conforman estructuras que dan lugar a configuraciones paisajísticas. Por ejemplo, las terrazas y muros de piedra seca generan la fisonomía abancalada de muchas regiones, y nos indican la enorme cultura que tenían los anteriores pobladores sobre conservación de aguas y suelos (Mongil, 2004, p.255).

El abancalamiento es una práctica generalizada que permite un mayor aprovechamiento del terreno con fines agrícolas en zonas abruptas. Puede complementarse con la recogida de agua, proceda ésta de cursos efímeros (mediante boqueras, o acequias agüeras), o proceda de escorrentía directa que desciende por la ladera. Pero éstas no son las únicas prácticas de recogida de aguas de lluvia y escorrentías efímeras en España. En las semiáridas islas orientales de las Canarias (donde la precipitación anual media no supera los 250 mm), también se han desarrollado técnicas de *water harvesting*. En Fuerteventura se conoce como gavia a un terreno agrícola circundado por un caballón de tierra o de piedra y tierra, llamado trastón, hasta el que se conduce agua mediante unos canales, con el fin de que ésta se infiltre lentamente y se pueda sostener el cultivo de cereales o leguminosas (Perdomo, 2003, p.54).

En Túnez y en el Magreb, la agricultura tradicional de escorrentía prosperó durante los siglos XIII y XIV con la introducción del conocimiento agrícola árabe-persa y andaluz, que se fusionó con técnicas tradicionales tunecinas indígenas prerromanas, como *jessour* y *meskat* (Berndtsson *et al.*, 2016, p.8). Estos sistemas todavía existen en parte en Túnez (ver fig. 2.13) y se han desarrollado específicamente según la topografía, la geología, el clima, la historia y la organización social de la población rural.

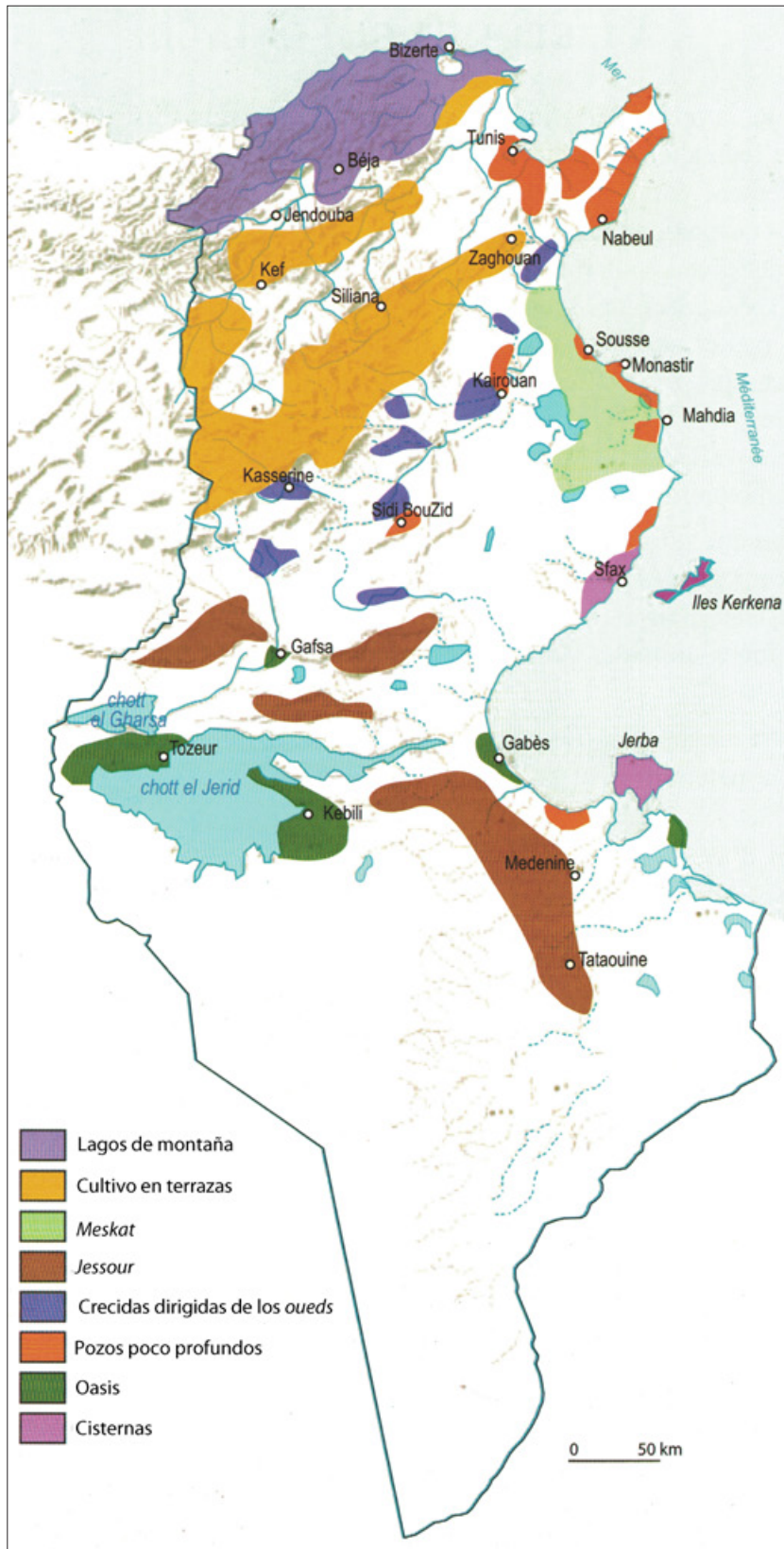


Figura 2.13: Principales métodos de gestión de agua tradicional en Túnez.
Fuente: Ben Boubaker y Henia (2008, p.86).

2.2.3.2. Técnicas habituales de water harvesting

A- ABANCALAMIENTOS/TERRAZAS

Una de las estructuras más características del paisaje de media montaña mediterránea son los bancales o terrazas de piedra seca. Perpendiculares a la pendiente de las laderas, posibilitan la acumulación de suelo cultivable con un gradiente óptimo para las prácticas agrícolas. Existen dos hipótesis en cuanto al origen de estas estructuras. La primera apuesta por un origen ligado a Mesopotamia y a Mesoamérica, desde donde se exportó la técnica, lo que fue dando lugar a complejos de terrazas, a las que se van incorporando variaciones regionales (Spencer y Hale, 1961). La segunda defiende un origen multiespacial (Despois, 1959), ligado a causas diversas (climáticas, edafológicas, históricas...).

Carbonero (1984, p.31) señala que, en relación al desarrollo árabe de algunos sistemas de regadío en Mallorca, se levantaron terrazas en las laderas. Pero otros autores como López-Gómez (1974, p.19) indica que ya los romanos utilizaban estas estructuras de piedra en las centuriaciones, e incluso algunos pueblos prerromanos (bereberes en África e íberos en la península Ibérica). Como señalan Rodríguez-Aizpeolea y Lasanta (1992), este último trabajo avalaría la hipótesis de un origen centrado en Mesopotamia, con una expansión por el norte y por el sur de la cuenca mediterránea, gracias al contacto entre las diferentes culturas y pueblos que habitaban este territorio.

En cuanto al porqué de estas estructuras, todo apunta a motivos ligados a la preparación del territorio para el asentamiento, al control de las escorrentías y cursos fluviales, a la limpieza de tierras destinadas al cultivo, y a la expansión de la superficie agrícola y necesidad de acumular suelo. El crecimiento demográfico generaba la necesidad de aumentar el espacio agrícola para incrementar la producción de alimento. Se construían las paredes de piedra en seco y se transportaba tierra desde otros lugares para generar la terraza cultivable con una potencia edáfica adecuada (Pérez Cueva, 1985; Blanchemanche, 1986).

Gracias a estas estructuras de piedra en seco se retenía el suelo de las laderas, mejoraba el balance hídrico, y se generaba un espacio útil para el cultivo. El empleo del aterrazamiento es, quizá, la expresión más directa de la necesidad de conservar el suelo y la humedad en áreas de montaña, siendo considerado como uno de los sistemas más antiguos y eficaces (Hernández y Morales, 2013, p.111).

B- MESKAT

El *meskat* hace referencia a una zona de pendiente suave destinada a la recogida de agua, que es adyacente a una zona de escasa pendiente, denominada *manqa*, en la que se sitúan los campos de cultivo (ver apartado 3.2.1 y fig. 3.44). En ocasiones, el *meskat* está delimitado por un reborde y puede disponer de canales para dirigir el

flujo de escorrentía entre las parcelas, evitando la erosión. El terreno está preparado para la recolección de agua de lluvia. El agua se dirige hacia las parcelas más altas, y de allí va saltando hacia las parcelas situadas por debajo. Se plantan árboles frutales como olivos, higueras y cultivos hortícolas.

C- TABIAS

Muy utilizada en el centro de Túnez, esta técnica generalmente se instala en pendientes bajas, al pie de las montañas, cerca de las zonas bajas de las cuencas, donde la pendiente no supera el 3% y donde los suelos son lo suficientemente profundos (en la base de las colinas o en zonas de glacis). La técnica de *tabia* es similar a la de *jessour* (que describimos después), pero se usa en áreas con menos pendiente que las zonas donde se aplica la técnica del *jessour*.

Las *tabias* incluyen un dique de tierra, un aliviadero y un área de producción. Las de pequeñas dimensiones son construidas con herramientas manuales, mientras que las grandes son levantadas con maquinaria pesada. La relación entre el área donde se usa el agua (cultivos) y el área total de recolección de agua varía entre 1:6 y 1:20. Se usan para cultivar árboles frutales y cultivos anuales (Alaya, Viertmann y Waibel, 1993). Además de su capacidad para capturar el agua, los sistemas de *tabias* reducen la erosión del suelo y tienen un efecto positivo en la recarga del acuífero. La diferencia entre el sistema de *tabia* y el de *jessour*, que también tiene diques, radica en el ámbito de emplazamiento (laderas o glacis en el primero, frente a vaguadas y cauces en el *jessour*), y en que las *tabias* tienen también unos pequeños diques laterales.

D- JESSOUR / FONDOS DE VALLE ABANCALADOS

El *jessour* es una técnica de captación de agua de escorrentía efímera, característica de Túnez, muy utilizada en las zonas montañosas de carácter semiárido. Sistemas similares han sido identificados en sectores áridos de las Islas Canarias, considerados también como una técnica de riego eventual o marginal (Perdomo y Dupuis, 2004, p. 3). De algún modo, representan otra forma de regeneración del lecho del río.

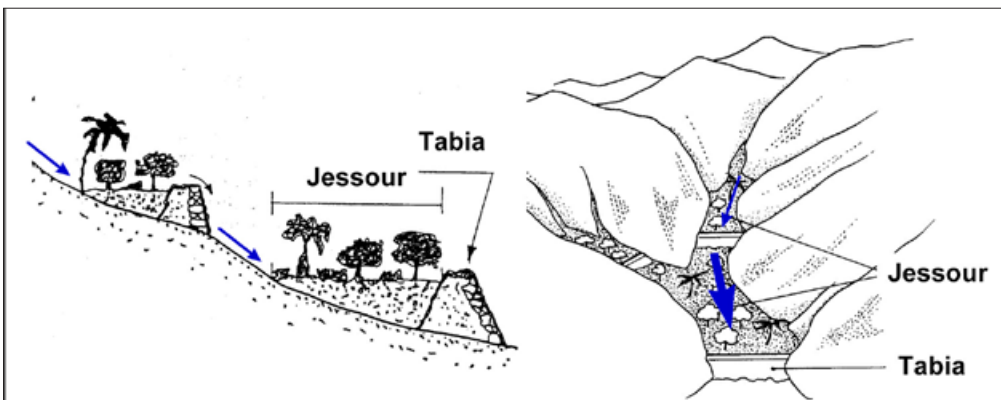


Figura 2.14: Esquema de *Jessour*, según el Amami 1984.

Fuente: Prinz (1996, p.150).

Los sistemas *jessour* están ubicados en las tierras altas, donde las pendientes son más pronunciadas, y se implantan sobre suelos de *loess* (por ejemplo, en la formación cuaternaria “limos de Matmata”, apartado 4.5.1.1). Las principales funciones de los *jessour* son aumentar el contenido de humedad del suelo para los cultivos, recargar las capas freáticas y controlar las inundaciones, protegiendo así la infraestructura aguas abajo (fig. 2.14).

E- BOQUERAS/ MGOUD

Las boqueras son el elemento clave de todo un sistema que permite captar los volúmenes de agua circulantes por las ramblas y barrancos, tras un episodio de lluvias intensas. El nombre que recibe el sistema o técnica es el de “riego por aguas turbias”, también denominado “inundación dirigida” o “cosecha de agua” (Martínez de Azagra, 1996, p.117). Mediante este sistema se trata de aprovechar la escorrentía una vez que ésta ha alcanzado los cauces. Se basa en la actuación sobre el cauce con el propósito de captar parte de sus aguas y de laminarlas en los bancales. Son aportes fundamentales para la producción agrícola, en medios semiáridos.

El sistema de boqueras se organiza a partir de una presa oblicua al cauce del barranco-rambla, que provoca que la escorrentía interceptada sea desviada hacia un canal lateral (Morales, 1969; Hernández y Morales, 2013). También puede construirse en el centro del lecho y paralelo al sentido del flujo, denominándose en este caso “presa de malecón”. La distribución de las aguas, una vez extraídas, se realiza mediante una red de canales y acequias, cuya complejidad depende de la importancia de la superficie a regar.

Según Hernández y Morales (2013, p.109) este sistema de irrigación puede considerarse casi perfecto, pues está contemplada, incluso, la devolución al cauce o a acequias de riego del caudal sobrante. En ocasiones, los sistemas de riegos de boquera se asocian con el aterrazamiento de las laderas (Hernández y Morales, 2013, p.111), de modo que se consiguen dos beneficios, aumentar los recursos hídricos y controlar la erosión.

En Túnez, esta práctica es denominada *mgoud*. Básicamente se trata de la misma técnica observada en el SE español (tal como analizaremos en el capítulo 5 de este trabajo), aunque se trata en general de sistemas de menor entidad. También se trata de aperturas de zanjas temporales para la captación y desviación de agua de crecida para usarlas para riego.

F- QANATS O FOGGARAS

Un *qanat* es un túnel que se abre por debajo de la superficie terrestre, cuya suave pendiente permite la captación y extracción al exterior de las aguas freáticas, por la acción de la gravedad, desde los acuíferos más superficiales o colgados. Esta técnica y estructura recibe distintas denominaciones en función de la región o área

geográfica: *Qanat* en Irán, *karez* en Afganistán y Pakistán, *kanerjing* en China, *qanat romani* en Siria y Jordania, *khettara* en Marruecos, *galería* en España, *afalaj* en Omán y los Emiratos Árabes Unidos, o *foggara* en Túnez (Mostafaeipour, 2010, p.63).

El empleo de esta técnica comporta una serie de ventajas frente a las dificultades iniciales que plantea su construcción. Por un lado, la captación y transporte de agua, por debajo de la superficie en un medio árido, donde la insolación y temperaturas son elevadas, impiden las pérdidas de agua por evaporación, que sería elevada en el caso de discurrir el agua canalizada en superficie. Por otro, la salida del agua desde el interior, prácticamente horizontal debido a la mínima pendiente, por acción de la gravedad, evita el gasto de energía (fuerza humana o tracción animal) en la extracción al exterior del agua. Si la galería está destinada a la captación y transporte de agua para consumo humano, su circulación subterránea evita el contacto con agentes contaminantes externos, propiciando aguas potables de calidad.

El origen de las galerías drenantes está en la tradición de los *qanats* y *foggaras* procedentes de Asia y del Norte de África. Pero, aunque el principio es el mismo (captación de aguas freáticas mediante la excavación de un túnel), parte de la comunidad científica defiende que la perforación de una galería siguiendo el rastro de una surgencia no es estrictamente un *qanat* (Martí, 1989, p.432).

La definición técnica de *qanat* o *foggara* es la de túnel subterráneo excavado en roca o sedimentos, cuya función es que el agua captada desde un pozo madre salga al exterior por gravedad (fig. 2.15). El agua captada es almacenada en una alberca o bien es transportada directamente, por medio de acequias, hasta los campos de cultivo, hasta artefactos hidráulicos o hasta núcleos urbanos (Barceló *et al.*, 1986). Por consiguiente, un *qanat* debe contar con una serie de elementos en su composición y técnicas constructivas específicas (Rosselló Bordoy, 1986; Barón y Carbonero, 1987):

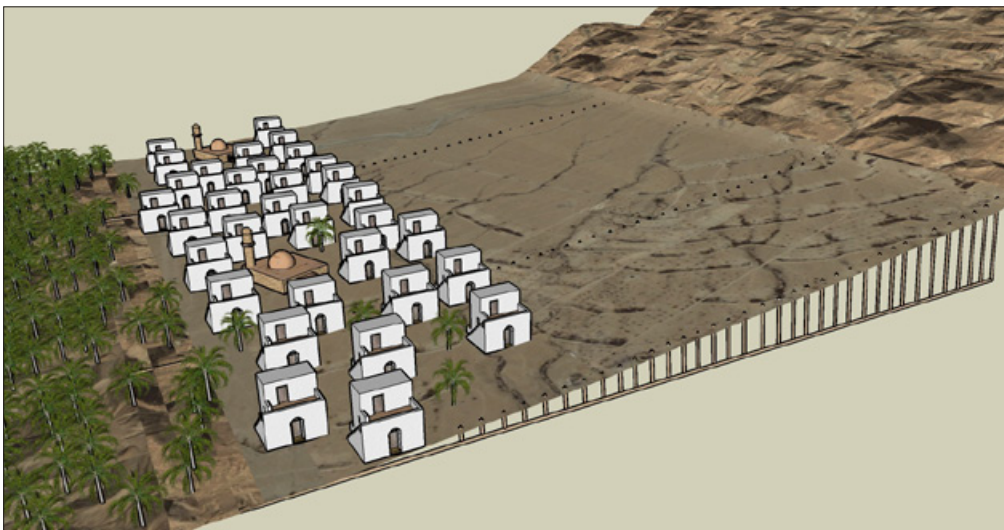


Figura 2.15: Esquema de un *qanat*.
Fuente: Elaboración propia.

- Pozo madre, o un pozo vertical que se abre donde existen indicios de la presencia de agua.
- Galería, o túnel excavado desde el pozo madre hasta la bocamina con una pendiente no superior al 5%, hasta que éste alcanza el pozo madre o atraviesa la zona saturada.
- Pozos de aireación (lumbreras), o pozos que se abren desde el exterior hasta la galería, a una distancia más o menos regular. Tienen como objetivo la extracción de los materiales removidos en la excavación de la galería, el aporte de oxígeno a los obreros durante las tareas de construcción del túnel y la entrada al tramo oportuno de la galería, en el momento de limpieza de la misma.
- Bocamina, o salida del agua, que es el lugar donde la galería alumbrada el agua.

G- NORIAS O NAUAIR

Las norias son artefactos hidráulicos, no muy complejos, que se emplean para la extracción de agua de un pozo, y a veces de una acequia o de un pozo de aeración (lumbrera) de una *foggara* (figs. 2.16 y 2.17).

Se puede distinguir entre dos tipos básicos de norias, las de tracción animal y las fluviales. Schiøler (1973, p.11) clasifica las ruedas hidráulicas en máquinas con engranaje, en las que el poder de tracción de un animal de tiro se transmite por medio de un engranaje en ángulo recto, y las máquinas sin engranaje, que son ruedas provistas de contenedores de agua, que la toman de una corriente, accionadas por la fuerza del propio flujo (fluvial, acequias...).

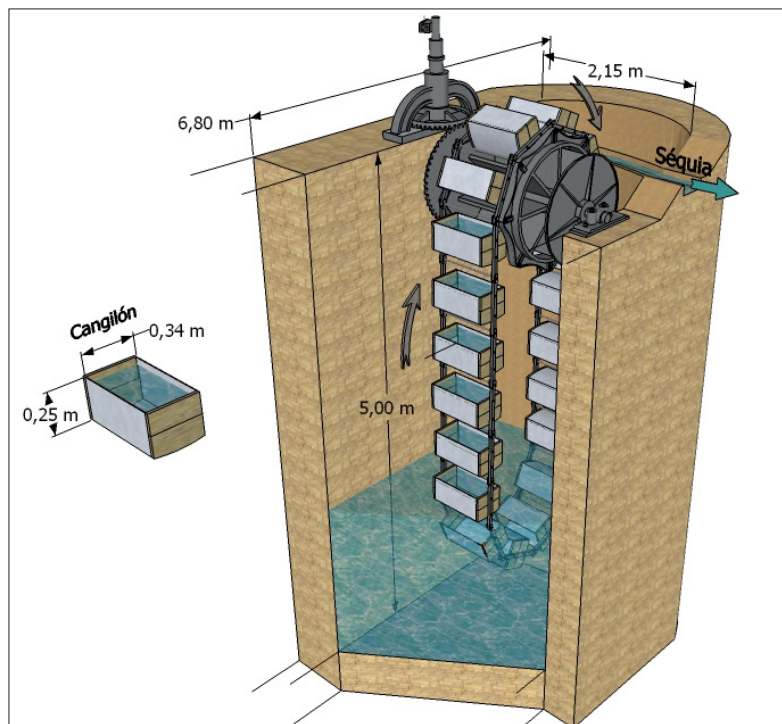


Figura 2.16: Representación 3D de una noria de hierro fundido.

Fuente: Hermosilla *et al.* (2015, p.225).



Figura 2.17: Fotografía de un mosaico mural en Testour que muestra el uso tradicional de las norias.

Fuente: Autor.

Las norias de sangre reciben esta denominación porque se accionaban mediante tracción animal o por el trabajo de una persona. Estaban muy extendidas en al-Andalus. Sobre una plataforma elevada, en la que el animal se mueve describiendo un círculo, “éste arrastra una barra de tiro o brazo de madera que hace girar un eje, cuyo piñón encaja en un engranaje vertical, el cometido del cual es transmitir el movimiento sobre la rueda a la que va sujeta una cadena o «guirnalda» de vasijas o arcaduces” (Poveda, 2004, p.43). Los arcaduces se cargan del agua del interior de un pozo, de poca profundidad y moderado caudal, y vierten el agua en una canaleta o una pequeña balsa que recoge el agua (Al-Hassan y Hill, 1986).

H- CISTERNAS, ALJIBES Y ABREVADEROS (MAJEL O FESGUÍA)

Se trata de un tanque subterráneo, construido de mampostería, y generalmente cubierto, utilizado para el almacenamiento de la escorrentía superficial. Este sistema también se conoce como *karif* o *majel* en la zona montañosa de Yemen.

3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS



*Fotografía aérea de la cuenca del Bco. de Cabrera (Segorbe, Castellón).
Fuente: Vuelo "americano" (14 de mayo de 1956).*

3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESCORRENTÍA EN LADERAS

En este capítulo se estudian sistemas que presentan un elemento común, la captación de agua en laderas y su distribución posterior en los campos de cultivo en seco o a través de ellos. Dentro del espacio cultivado se produce un mayor o menor aprovechamiento, en función de las características climáticas, mediante una serie bastante variada de técnicas. Pero suele ser habitual que exista una componente de riesgo más o menos importante, que coexiste con el aprovechamiento del agua como recurso. Este riesgo depende, sobre todo, del carácter torrencial de las lluvias, muy variable según sectores. La adaptación al riesgo determina otro tipo de soluciones. Así pues, tanto el grado de riesgo/ recurso que tienen que solucionar/ aprovechar los sistemas, como el tipo de soluciones empleadas y su grado de aplicación, dependen de dos variables climáticas, la pluviosidad general y la torrencialidad de las lluvias, algo muy variable en el Mediterráneo. De ello se deduce que, más que de tipos de sistemas en concreto, estamos delante de casos de “diseño a medida”, y que la casuística puede llegar a ser muy grande. Con todo, pensamos que es posible detectar elementos de comparación y obtener conclusiones en este tipo de sistemas o casos. Además, la complejidad de las soluciones adoptadas depende del grado de organización posible en su diseño e implementación, desde sistemas en pequeñas propiedades particulares hasta organización de espacios mucho más amplios con muchos propietarios. Hemos tomado, como sectores de comparación, el sistema de *meskat* en los alrededores de Sousse y dos ejemplos del Levante español con acequias de captación y derivación, en Segorbe (Castellón) y Monteagudo del Castillo (Teruel).

3.1. DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍAS EN EL LEVANTE ESPAÑOL

Son muy numerosos los casos de derivación de aguas de escorrentía en el SE español, aunque la mayor parte no han merecido un estudio detallado, ni siquiera una cita. La mayor parte son soluciones simples que obedecen al interés de reducir el riesgo de erosión o de aprovechar mejor los fondos de valle. Muchas de estas actuaciones son simples correcciones del trazado de los canales naturales.

En los dos ejemplos elegidos aquí, el valle del Bco. de Cabrera en Segorbe (Castellón) y el sector de Monteagudo del Castillo (Teruel), se trata de espacios reordenados de mayor extensión de lo habitual (la totalidad de pequeñas cuencas). Pertenecen a dos ámbitos con ciertas diferencias ombrotérmicas, más cercano a ambientes de transición entre subhúmedo y semiárido en el caso turolense y con unas condiciones algo más áridas en el castellanense. En el conjunto de este capítulo se pretende comparar las

diferentes estrategias y soluciones de gestión del agua desde sectores en las que predomina su faceta de riesgo (Monteagudo) hasta sectores francamente áridos, en los que predomina su valor como recurso (el *meskat* de Sousse).

3.1.1. El caso de las cuencas del Bco. de San Cristóbal y La Cañadilla (Monteagudo del Castillo)

El Bco. de San Cristóbal y el del de La Cañadilla son dos pequeñas cuencas de 5'19 km² y 0'90 km² de extensión, situadas en las cercanías de Monteagudo del Castillo (Teruel) (ver fig. 3.1). Son dos afluentes del Río Seco, curso fluvial que a su vez aporta sus aguas al Alfambra, y posteriormente al Turia.

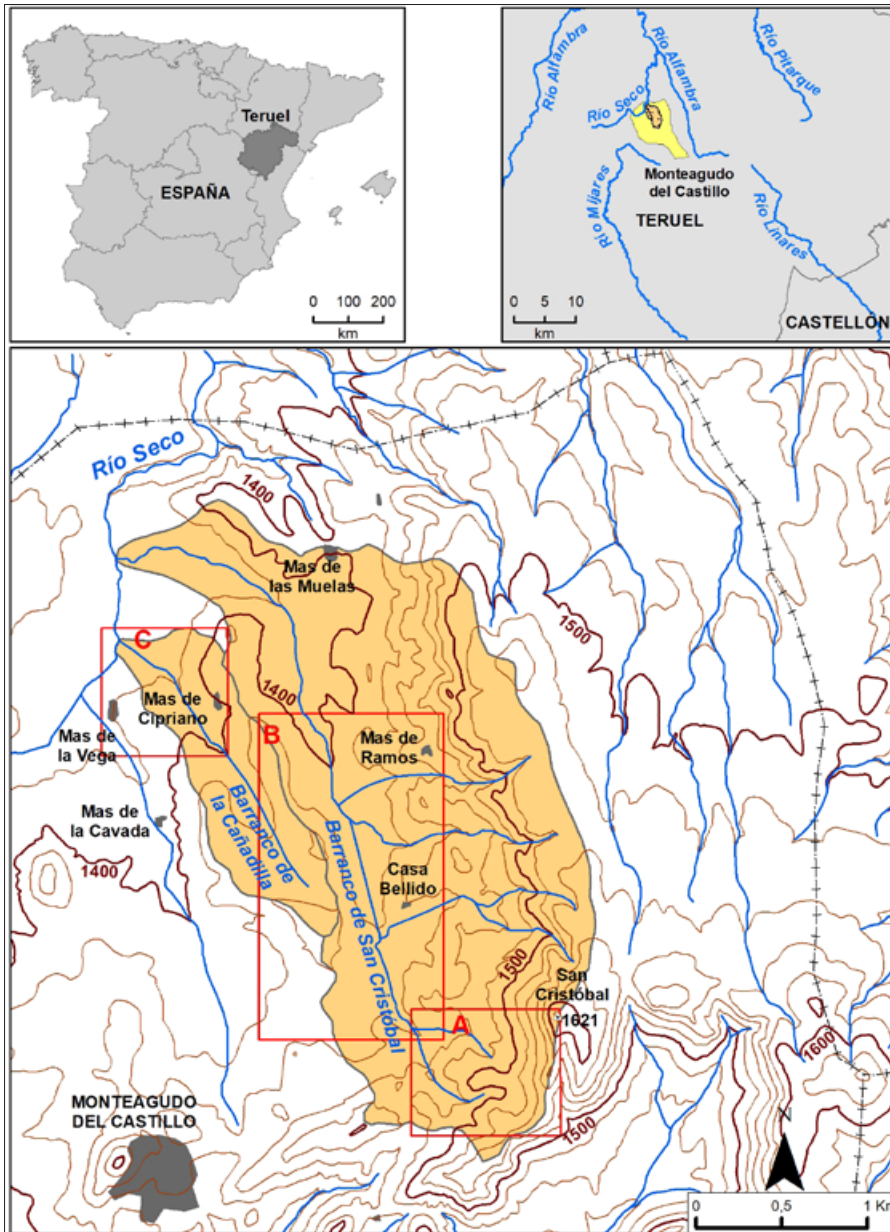


Figura 3.1: Localización de la zona de estudio de Monteagudo del Castillo (Teruel). Se indican los sectores cartografiados en detalle en el apartado 3.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.1. Características del área de estudio

A- GEOLOGÍA

El término municipal de Monteagudo del Castillo se localiza en el tránsito entre la Depresión de El Pobo y la sierra de Gúdar, a caballo entre las cuencas hidrográficas del Mijares y del Alfambra. En conjunto se pueden observar dos grandes sectores geológicos: la cubeta sinclinal de El Pobo y el anticlinal de Alcalá. El sector estudiado pertenece totalmente a la cubeta sinclinal.

La depresión de El Pobo (fig. 3.2 y fig. 3.3) es una cubeta sinclinal que enlaza dos estructuras elevadas, el anticlinal de Alcalá y el de Hoyalta-Castelfrío. En toda la cubeta llegan a aflorar casi exclusivamente los materiales del techo del Jurásico, las calizas, margas y areniscas calcáreas del Portlandiense, en disposición subhorizontal.

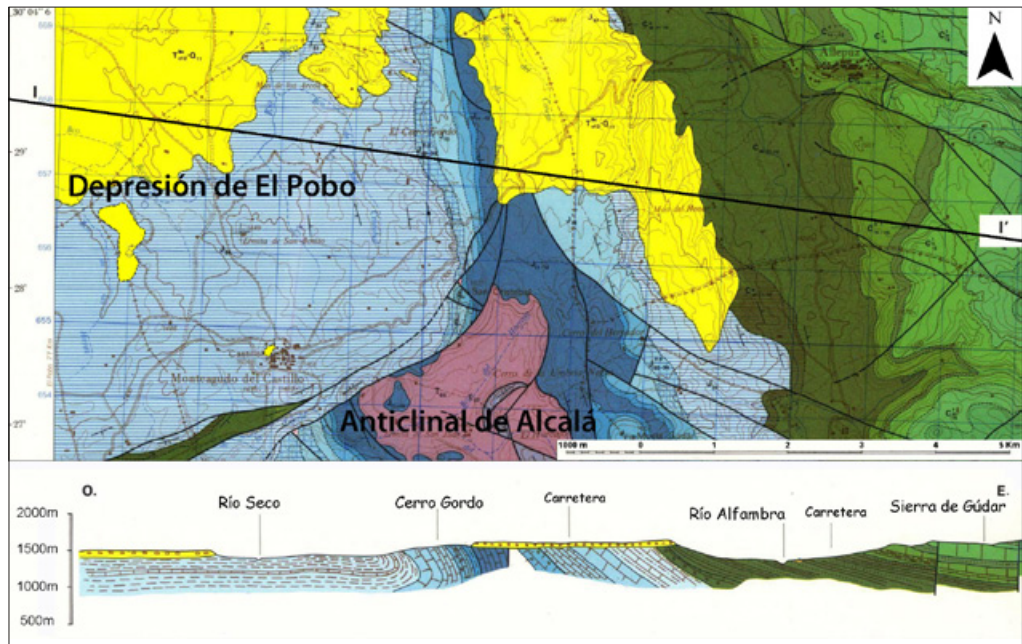


Figura 3.2: Mapa y corte geológico de los alrededores de Monteagudo del Castillo, que muestra la Depresión de El Pobo y el extremo norte del anticlinal de Alcalá (ver leyenda en fig. 3.3).

Fuente: Penalba y Pérez Cueva (2013), adaptado de IGME (1981).

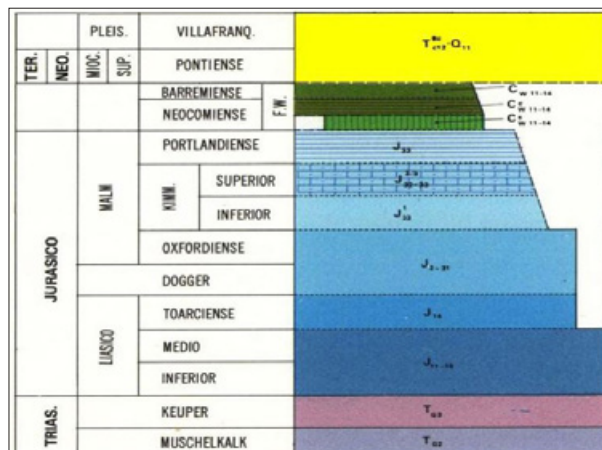


Figura 3.3: Leyenda cronolitoestratigráfica de los alrededores de Monteagudo del Castillo.

Fuente: Penalba y Pérez Cueva (2013), adaptado de IGME (1981).

También afloran materiales del Mioceno, constituidos por conglomerados con intercalaciones de arcillas. A finales del Mioceno la cubeta llegó a rellenarse con estos materiales detríticos, que llegan a observarse en algunos lugares (lomas de La Sabina y de Los Arcos, Las Cabezas), y también en el techo del cerro del Castillo de Monteagudo. Este cerro-testigo, coronado de Mioceno, es un buen indicador de hasta qué altura llegó el relleno de materiales detríticos. Posteriormente, durante el Plioceno y el Cuaternario, el encajamiento de la red fluvial vació casi totalmente estos materiales e hizo aflorar el Portlandiense.

El eje triásico del anticlinal de Alcalá de la Selva, en cuyo núcleo llegan a aflorar los materiales del Muschelkalk y del Keuper, permite ver en sus flancos toda la serie jurásica. Este eje anticlinal se interrumpe bruscamente a partir del Cerro de San Cristóbal (situado en la cabecera del barranco del mismo nombre), y continúa hacia el NW sólo con su flanco NE, primero en forma de pliegue tumbado (la divisoria N del Bco. de San Cristóbal) y luego como falla inversa.

La zona ha sido estudiada por Lozano (1983) y Pailhé (1984) desde un punto de vista geomorfológico y por Pailhé (1971) desde el geológico. En estos estudios se muestra la depresión de El Pobo a la vez como una cubeta tectónica y una depresión de vaciado. Más recientemente, su relleno neógeno ha sido estudiado por Simón Porcar (2017).

Los materiales del Portlandiense, presentes en la casi totalidad de las dos cuencas estudiadas, están constituidos por una serie carbonatada alternante de calizas, areniscas calcáreas, margas e incluso algunos niveles de arcillas. Las margas portlandienses son muy impermeables y erosionables, por lo que la torrencialidad de las lluvias, en particular las de las tormentas estivales, genera fácilmente contextos de riesgo.

B- CLIMATOLOGÍA

El clima de Monteagudo del Castillo pertenece al tipo Submediterráneo continental frío, según el Atlas Climático de Aragón, (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007), común a casi toda la provincia de Teruel. Se caracteriza por unas temperaturas mínimas muy bajas, unas máximas algo moderadas para un clima continental, por efecto de la altitud, y por unas precipitaciones generalmente escasas. En lugares protegidos con mínimos pluviométricos, como en las depresiones del Alfambra y del Jiloca (o la misma Depresión de El Pobo) este clima llega a ser estepario. En lugares más montañosos, en especial en la Sierra de Gúdar, la precipitación aumenta ligeramente, lo que unido a un pequeño descenso térmico es suficiente para alcanzar unas condiciones casi subhúmedas. Estas últimas son las condiciones del clima de Monteagudo del Castillo, de rápida transición entre ambientes subáridos y subhúmedos.

El régimen térmico

La altitud y la ubicación de la zona de estudio son los principales condicionantes de sus rasgos climáticos. Las temperaturas no sobrepasan los 10°C de media anual.

La media del mes más frío (enero) apenas supera los 1°C, mientras que la media del mes más cálido (julio) se sitúa sobre los 19°C. Esto da lugar a una amplitud media anual de unos 18°C, propia de un régimen térmico mediterráneo continental. Esta continentalidad se basa más en las rigurosas temperaturas invernales que en las temperaturas estivales, muy moderadas por la altitud.

Las precipitaciones

Se reparten de un modo bastante equilibrado a lo largo del año. En invierno es cuando se registra la estación más seca, con precipitación en torno a los 70mm. La primavera también es bastante seca, pues apenas se superan los 100mm. Muchos años es la prolongación de un seco invierno, mientras que en otros es más lluviosa, aunque nunca con precipitaciones cuantiosas. El verano es la estación ligeramente más lluviosa, con cantidades que se acercan a los 130mm. Recoge la pluviosidad tormentosa de junio y sobre todo la de agosto, típica de final del verano, pero que se extiende a veces a todos los meses cálidos. El otoño registra unas precipitaciones comparables a las del verano, aunque ligeramente inferiores, en torno a 120-130mm, al estar la zona a resguardo de la influencia mediterránea.

La localización concreta del término lo protege de casi todas las situaciones atmosféricas que producen precipitación: de los temporales de Levante (por el macizo de Gúdar), de los del SW (por el eje Javalambre-Montes Universales) y de los del N y NW (sistemas orográficos del norte peninsular). Aun así, los temporales de levante debilitados son responsables de un 40% de las avenidas de la cuenca del Alfambra. Sin embargo, el mecanismo de las precipitaciones convectivas es relativamente el más eficiente, pues, aunque funciona sólo en los meses más cálidos, llega a producir el 30 % de las avenidas de la cuenca (Morell Cuevas, 2001). A pesar de ello, el hecho de situarse en el tránsito entre la Depresión del Alfambra y el macizo de Gúdar hace que las situaciones atmosféricas lluviosas con componente W recuperen en parte su pluviosidad por efecto orográfico, y se lleguen a alcanzar unos 435 mm de media anual (ver fig. 3.4).

La evapotranspiración y el balance hídrico

Estos valores reducidos de temperatura son la causa de que la evapotranspiración potencial (E_{vp}) media anual se sitúe en torno a 900mm, muy limitada en invierno, inicio de la primavera y final de otoño por las bajísimas temperaturas (fig. 3.4). La evapotranspiración potencial se basa pues, sobre todo, en las temperaturas del semestre estival. Como se trata además del momento más lluvioso del año, ello incrementa la evapotranspiración real (E_{vr}), y acentúa las características semiáridas de la zona, pero éstas no llegan a ser excesivas, a causa de la moderación de las temperaturas estivales.

El carácter tormentoso de las lluvias, con cantidades que pueden superar los 50mm/día con cierta facilidad, junto con las muy ocasionales nevadas copiosas invernales, son los principales procesos de recarga hídrica. Son además recargas muy

eficientes, según muestran las numerosas surgencias del término municipal (Penalba y Pérez Cueva, 2013) en todos los contextos hidrogeológicos posibles (Penalba, Pérez Cueva y Fansa, 2012, pp. 30-34 y Villarroja *et al.*, 2014, p. 894).

A modo de **conclusión** del apartado anterior, podemos afirmar que en este sector de Monteagudo del Castillo ubicado en la Depresión de El Pobo se reúnen un conjunto de factores que sitúan la gestión tradicional del agua a caballo entre el riesgo (en mayor medida) y el recurso:

- La presencia en bastantes lugares de las margas del Portlandiense.
- Unas precipitaciones escasas (en especial en el centro de la depresión) y que caen fundamentalmente en los meses de más calor.
- Una torrencialidad bastante considerable de la mano de las tormentas convectivas, que pueden superar más de 100mm/día con periodos de recurrencia relativamente cortos (10-20 años).

Hay que señalar que el macizo de Gúdar es, junto al Pirineo Oriental, uno de los polos de máxima tormentosidad de la Península Ibérica, y el que registra mayor número de tormentas violentas (*hailstorms*) (ver fig. 3.5).

Una prueba fehaciente de la elevada tormentosidad de la zona es la gran cantidad de casetos que existen en todo el término municipal (Penalba, 2017). Estas pequeñas construcciones tenían la función principal de servir de refugio a los

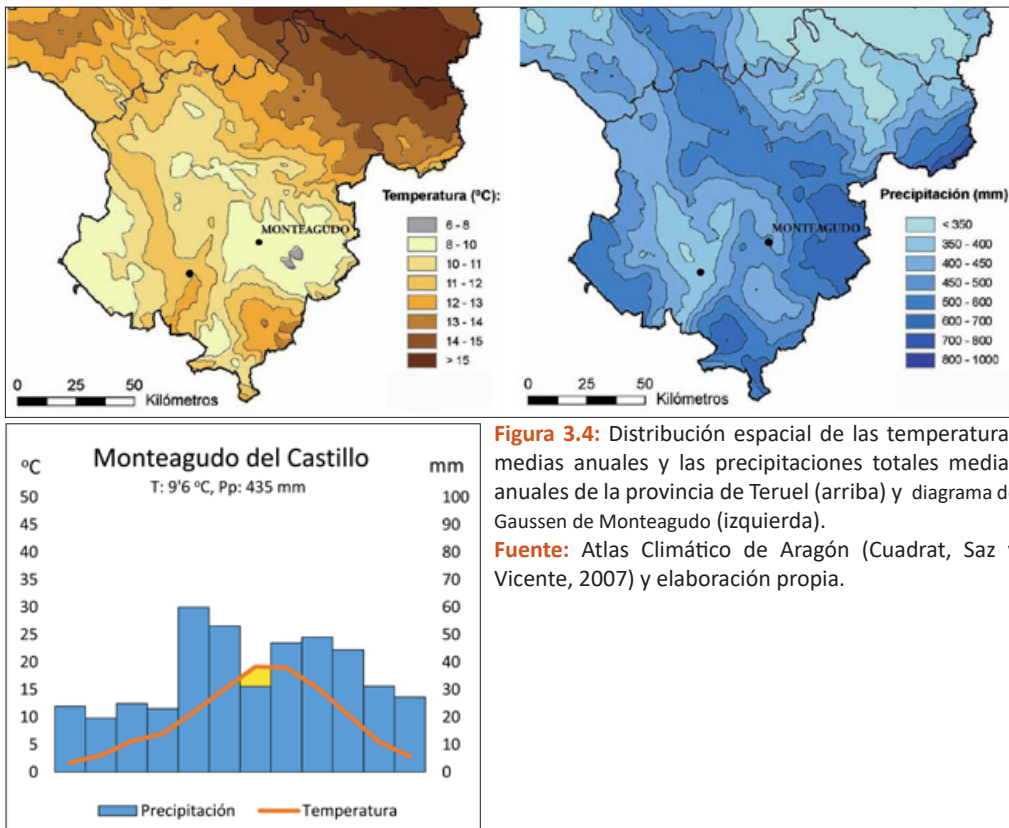


Figura 3.4: Distribución espacial de las temperaturas medias anuales y las precipitaciones totales medias anuales de la provincia de Teruel (arriba) y diagrama de Gausson de Monteagudo (izquierda).

Fuente: Atlas Climático de Aragón (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007) y elaboración propia.

campesinos en casos de tormenta (no tanto para guardar los aperos de labranza). A pesar de la cercanía al pueblo, lo rápido con que se montan y descargan estos sistemas convectivos no les daba tiempo a los campesinos a recorrer el camino.

Aparte de estos condicionantes del medio físico, también es importante observar que la dedicación agropecuaria tradicional (y en buena medida actual) está basada en el cultivo del cereal y en prados para el ganado (principalmente el bovino). Las aguas de avenida de las tormentas estivales, sobre todo las de julio y agosto, son un riesgo para el cereal, pero un importante recurso para mantener verdes los prados en el periodo de máximo déficit hídrico.

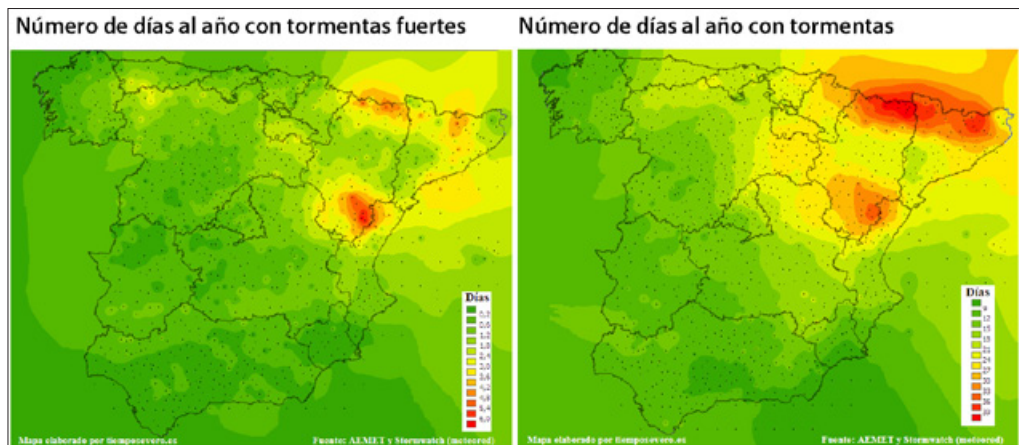


Figura 3.5: Tormentosidad de la Península Ibérica. Se observa que el macizo de Gúdar y alrededores es el principal polo peninsular de tormentas violentas (*hailstorms*) de la península. **Fuente:** González Márquez (2006), a partir de Stormwatch, Meteored.

3.1.1.2. Metodología específica

Estrategia metodológica

En este sector se ha realizado el estudio fundamentalmente con trabajo de campo y entrevistas. El trabajo de campo se realizó de manera intensiva en el mes de agosto de 2011, y consistió en el reconocimiento exhaustivo de todos los canales funcionales de la red de los barrancos de San Cristóbal y la Cañadilla. A la vez que se constataba su funcionalidad, se tipificaron los tramos en “natural” y “antropizado”, y dentro de estos últimos se establecieron diferentes tipos: acequias según su función principal (de recolección, de evacuación, o de derivación), tramos de cauces “rectificados” (con trazados rectos nuevos) y tramos “lateralizados” (desplazados al lateral).

A la vez que se tipificaron los canales, se observaron y clasificaron otros elementos de control de la erosión o de aprovechamiento del agua, y se intentó entrevistar a diferentes vecinos de Monteagudo del Castillo para confirmar las identificaciones dudosas (en especial la de los prados).

Reconstrucción de la red funcional: conceptos

En esa tarea de tipificar la red funcional se han tenido que conceptualizar las funciones de cada uno de los cauces o tramos de cauce que la constituyen.

En total, se han utilizado los siguientes conceptos:

a. Red natural: Cuando la red funcional coincide en el espacio con la reconstrucción topográfica de la red “natural” (ver siguiente apartado de esta metodología específica). Se entiende en tal caso que no existe una corrección de cauces suficientemente significativa. Esta red suele presentar un característico trazado irregular y está sistemáticamente en la posición topográfica más baja (fondos de valle o vaguada).

b. Flujo en bancales: Cuando la red funcional desaparece porque los bancales rompen su conectividad natural o alteran la dirección de flujo. En ocasiones puede coincidir la dirección del flujo topográfico natural con el camino que sigue el agua entre los bancales, pero normalmente estos están diseñados para dispersar o concentrar el flujo según lo que más interese al agricultor. El criterio adoptado es que, si un flujo nace o atraviesa un sector de bancales y no muestra un cauce aparente, pertenece a este tipo.

c. Cauces enderezados: Se trata de flujos canalizados con tramos rectos situados en fondo de valle. Son elementos de la red funcional que aumentan la conectividad y las pendientes, por lo que, su papel fundamental es acelerar la evacuación de agua.

d. Cauces laterales: En este caso se trata de otra corrección de cauces, como la anterior, pero que consiste en desplazarlo claramente a un lateral del bancale. Se utiliza casi exclusivamente en vaguadas y valles estrechos, a efectos de aprovechar como zona de labor todo el fondo.

e. Acequias recolectoras: Las acequias, a diferencia de los cauces, son elementos de la red funcional que no existían previamente. No se trata de modificaciones del drenaje, sino elementos totalmente nuevos y con una función definida. Las acequias recolectoras tienen la función de interceptar el drenaje, concentrarlo y prepararlo para su evacuación, de modo que no llegue a los campos de cultivo o se acumule en ellos en exceso. Su objetivo principal es controlar la erosión.

f. Acequias evacuadoras: Tienen la función de drenar hacia la red principal la arroyada acumulada en los campos de cultivo o la concentrada ya por las acequias recolectoras. Suponen un aumento de la conectividad hidrológica en contextos en que los bancales la interrumpen. Como sólo funcionan en casos de lluvias intensas, su resultado es que protegen las zonas abancaladas de la erosión cuando hay un exceso de escorrentía. Tienen el inconveniente de que, si están mal diseñadas, pueden generar cárcavas.

g. Acequias de derivación: Tienen el papel de derivar el agua ya concentrada en cauces hacia algún lugar en que pueda aprovecharse (balsas, derrames, riego de prados...).

Normalmente las acequias suelen tener más de una función, pero siempre hay una principal, que es el motivo de que existan. Una vez hecha la acequia, según el contexto en el que esté, puede desempeñar una segunda función “en pasivo”, es decir, por el mismo hecho de estar en ese lugar. En tales casos, se ha cartografiado según la que se ha interpretado que es su función principal o “activa”.

En la zona, hay una modalidad de acequias denominada localmente “*enjuagadores*” (Villarroya *et al.*, 2014), que sirven para drenar zonas excesivamente húmedas que se quiere dedicar al cereal. En sentido amplio, sería un tipo de acequia evacuadora, pero con una función distinta, que es la de drenar, y no la de evitar la erosión.

Reconstrucción de la red “topográfica”

La reconstrucción de la red funcional se ha complementado con el trazado de la red “natural”. Se entiende como tal, no solo la que se observa como funcional no antropizada, sino también la que existiría en muchos lugares (sobre todo en las vaguadas) si no hubiese campos labrados: cuando los cauces concentran poca agua el laboreo los hace desaparecer y los bancales ocupan el eje de las vaguadas, que son los lugares en los que se concentra la humedad.

Para reconstruir la red “natural” se ha utilizado como fuente los datos LIDAR facilitados por el IGN (de fecha 2014). A partir de ello se elaborado un modelo digital del terreno con una resolución de 1mx1m. Con este modelo se analiza la procedencia del agua en cada celda y se conectan. El resultado es la red fluvial “topográfica”, es decir el recorrido que hace el agua con la topografía actual.

Los pasos seguidos son:

1. Rellenar las celdas ciegas (endorreicas) o corregir las imperfecciones en el modelo digital de elevaciones (*Fill Sinks*), de manera que dichas celdas imperfectas tengan una altura igual a la mínima altura de las ocho celdas que la rodean, lo que permite determinar la dirección del flujo de forma correcta.
2. Definir la dirección del flujo (*Flow direction*) buscando el camino descendente de una celda a otra.
3. Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda (*Flow accumulation*). Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella.
4. Clasificar las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral como celdas pertenecientes a la red hidrográfica (*Stream definition*) Es decir, considerar como red hidrográfica todas las celdas que reciben las aguas a partir de un mínimo de superficie de captación. En este caso se ha establecido como umbral 20.000 celdas, es decir 20.000 m² de captación para empezar a considerar la celda como canal.
5. Crea una capa vectorial (*shapefile*) de drenajes (*Stream Feature*) para facilitar los cálculos y las tareas de representación cartográfica.

3.1.1.3. La antropización del drenaje en los barrancos de San Cristóbal y La Cañadilla

Este conjunto de cuencas conexas (además de otras adyacentes no estudiadas, como la del Bco. del Pilar) presentan una serie de soluciones para corregir los dos problemas básicos señalados anteriormente: en primer lugar, controlar la erosión, y subsidiariamente aprovechar las aguas de avenida en la máxima medida posible.

Entre las medidas para corregir la erosión tenemos fundamentalmente tres: abancalamiento de laderas, corrección de cauces y establecimiento de acequias de drenaje. Entre las soluciones de aprovechamiento de las aguas turbias, la medida fundamental es la de derrames en prados, y puntualmente las balsas recargadas con aguas de avenida. También puede darse el caso de elementos con doble funcionalidad, como ocurre con los caños y algunas zanjas de drenaje.

A- EL CONTROL DE LA EROSIÓN

Sistemas de bancales

Se disponen en los lugares de mayor pendiente de las cuencas. Son el sistema de defensa casi exclusivo, por ejemplo, en la cabecera del Barranco de San Cristóbal (fig. 3.6). En otros lugares son menos abundantes, pero, dada la topografía ondulada de todo el sector, pueden estar presentes en cualquier lugar (ej. fig. 3.10 y fig. 3.11).

Las diferentes litologías que afloran en las cuencas, en las que se alternan rocas duras y blandas incluso en un mismo piso cronológico (por ejemplo, en el Portlandiense), suministran material para la construcción de paredes de piedra seca. Sin embargo, a pesar de esta disponibilidad, no siempre se utilizan, y bastantes de los bancales son taludes fijados con vegetación espontánea o matorral (fig. 3.7).

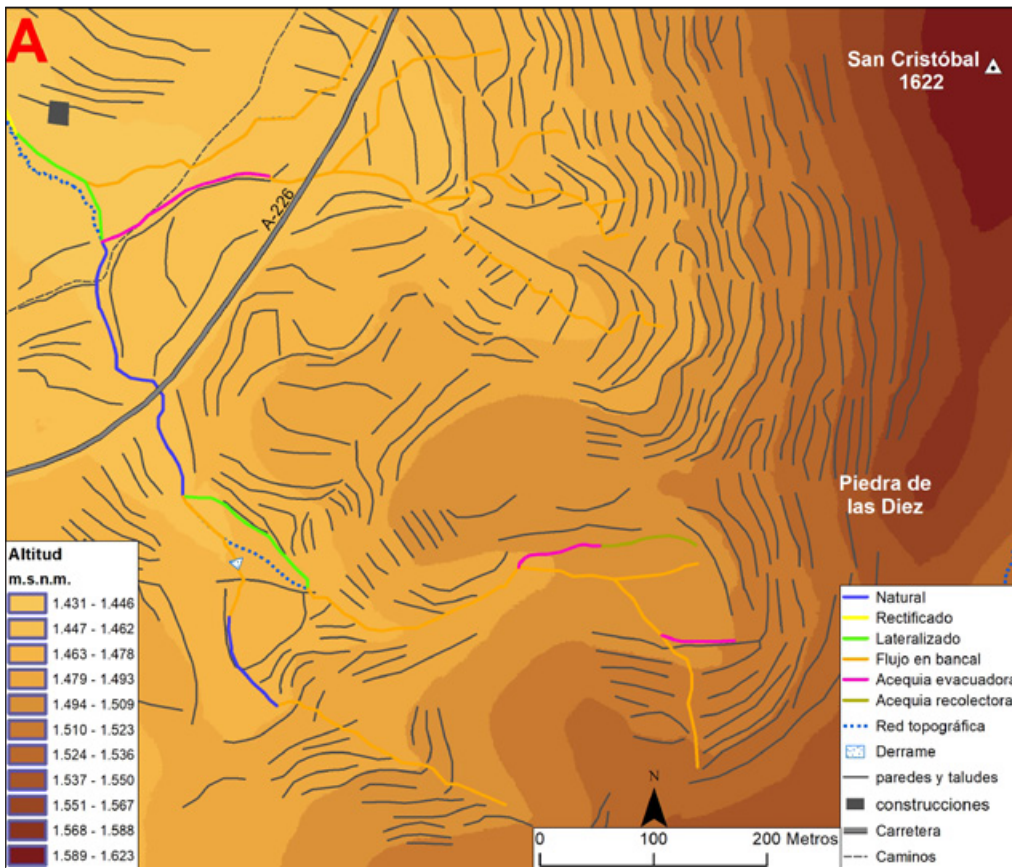


Figura 3.6: Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de escorrentía en la cabecera del Barranco de San Cristóbal.

Fuente: Elaboración propia.

Sólo en lugares de pendientes elevadas se tiende a utilizar sistemáticamente la piedra. En otras ocasiones puede darse un caso mixto de talud reforzado con piedras en la parte superior, o reforzamientos con piedras en los taludes de bancales que concentran agua y tienen riesgo de erosión. Sí que se utiliza la piedra en muretes de delimitación de parcelas, cerradas, pequeños huertos, casetos, corralizas, etc.



Figura 3.7: Ejemplo de bancales con talud vegetado, en la cuenca del Bco. de San Cristóbal.

Fuente: Autor.

Acequias de derivación

El carácter alternante de las litologías y, sobre todo, la muy elevada torrencialidad de las lluvias ocasionan que cualquier pequeña cuenca, vaguada o ladera pueda producir escorrentías capaces de generar erosión en los campos de cultivo. Un punto crítico es la rotura de conectividad hidrológica que generan los bancales. En general, en sectores semiáridos y áridos, los bancales generan justamente esta rotura de conectividad (Bracken y Croke, 2007, p.1758; Meerkerk, van Wesemael y Bellin, 2009, p.2799), pues estos elementos, al ser la superficie cultivada, necesitan captar el máximo de agua (Arnáez *et al.*, 2015, p. 122). En Monteagudo, sin embargo, es necesario en casos de lluvias fuertes que funcione la conectividad hidrológica, y que ésta sea compatible con la existencia de bancales. Esta es la función que persiguen las acequias de recolección y derivación de aguas de escorrentía.

Por esta razón, un lugar característico de ubicación de acequias de recolección es en la base de las laderas, justo antes del primer banca (el más alto) (figs 3.8-A y 3.8-B). Posteriormente esta acequia conecta con otra de evacuación que lleva las aguas al barranco principal.



Figura 3.8-A y 3.8-B: Ejemplo de acequia recolectora a pie de ladera en la cuenca del Bco. de San Cristóbal (A). Ejemplo de acequia evacuadora, en la cuenca media del Bco. de San Cristóbal (B).

Fuente: Autor.

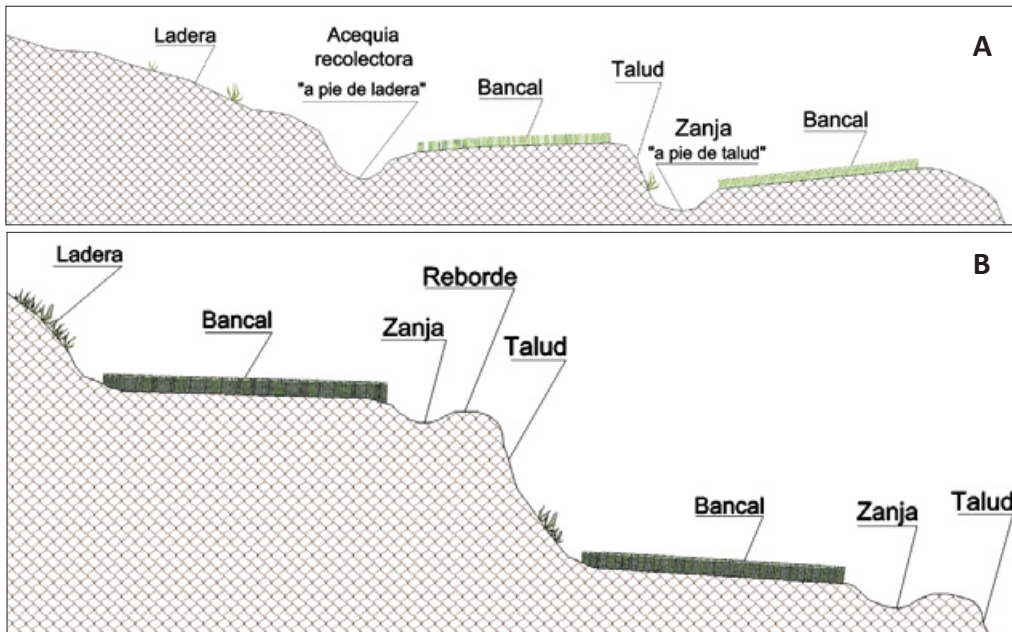


Figura 3.9-A y 3.9-B: Esquemas de ubicación en los bancales de las zanjas "a pie de bancal" (en su parte interior) (A) y de zanjas situadas en la parte exterior o frontal del bancal (B).

Fuente: Elaboración propia.

Una técnica de labranza utilizada para controlar la conectividad en los bancales es la de diseñarlos con pendientes hacia el interior: mediante el laboreo se va acumulando poco a poco la tierra hacia la parte exterior del bancal, se hace una zanja en la interior y se conecta la zanja con una acequia evacuadora. Esta misma estrategia se sigue también en casos en los que es imposible o muy costoso invertir la pendiente del bancal; en tal circunstancia, la zanja se ubica en su parte exterior, justo antes del talud.

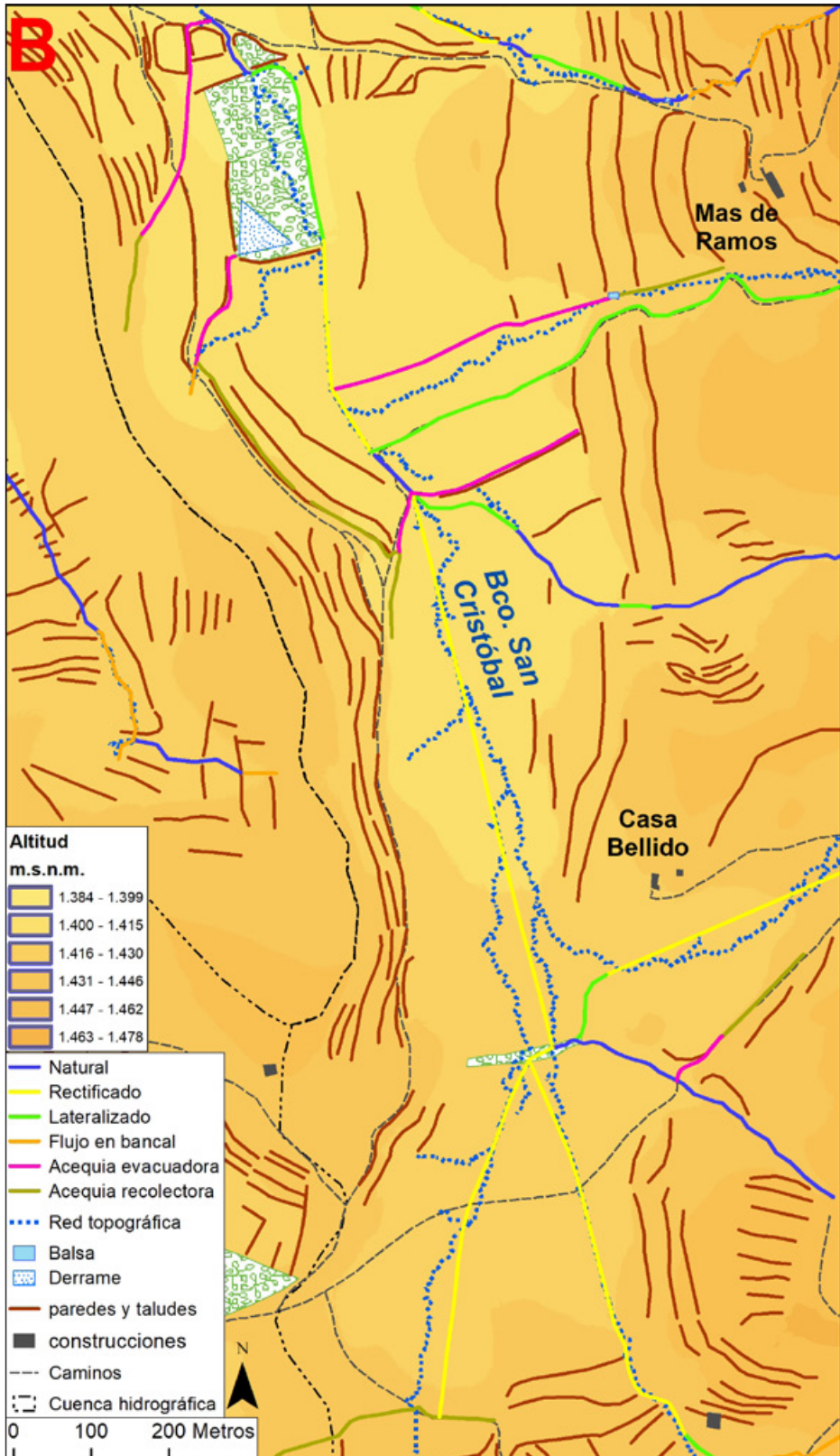


Figura 3.10: Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de escorrentía en la parte media del Bco. de San Cristóbal.

Fuente: Elaboración propia.

Corrección de cauces

La lucha contra la erosión de las avenidas producidas por las tormentas se complementa con la modificación del drenaje natural. No obstante, la finalidad principal de estas acciones, según se deduce de los lugares donde se han llevado a cabo, es la de facilitar el drenaje en los campos de cultivo dedicados al cereal: se evita el encharcamiento y se controla la incisión de la red fluvial. Este tipo de actuaciones están presentes en cualquier sector de las cuencas analizadas (ver figs. 3.6, 3.10 y 3.11).

La corrección de cauces combina desplazamientos de la red, diseño de trazados rectos y excavación de zanjas de drenaje. Pero, aunque su diseño pueda primar esta función de drenaje de zonas encharcadas, no se trata del tipo de acequias conocidas localmente como “enjuagadores”:

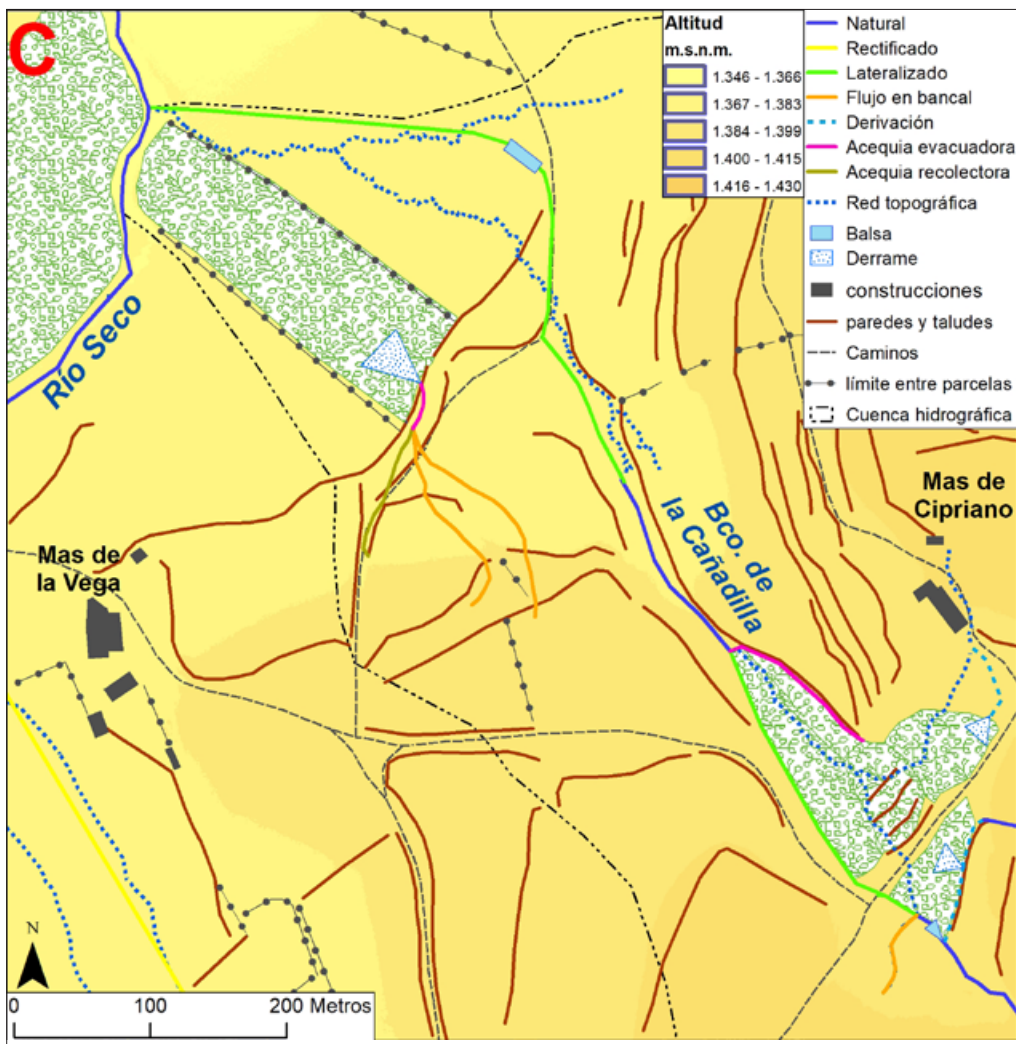


Figura 3.11: Red de drenaje, elementos de defensa contra la erosión y aprovechamiento de aguas de escorrentía en el tramo bajo del Bco. de la Cañadilla.

Fuente: Elaboración propia.

a. El desplazamiento de la red a un lateral busca generalmente poder cultivar el centro de una vaguada. Se aplica sobre todo cuando son estrechas (por ejemplo, el barranco afluente al del San Cristóbal que baja del Mas de Ramos, fig. 3.10). Otro objetivo es el de convertir una vaguada muy estrecha en una cañada de ganado (por ejemplo, el del Bco. de la Cañadilla aguas abajo del Mas de Cipriano, fig. 3.11). En estos casos no suelen utilizarse los trazados rectos, sino que se adaptan al trazado irregular de las vaguadas.

b. Los trazados rectos se utilizan en contextos de vaguadas amplias, con poca pendiente y proclives al encharcamiento. En tal caso, suelen ubicarse en el eje más bajo de la vaguada (aunque no siempre), y no importa que el terrazgo cultivado quede partido en dos. El tramo medio del Barranco de San Cristóbal, cuando discurre a la altura de la Loma de la Pascuala, tiene cauces de este tipo de varios centenares de metros de longitud (ver fig. 3.10).

c. La excavación de zanjas puede suponer la aparición de elementos de drenaje totalmente nuevos. Es una solución menos común que las anteriores y, según se deduce de los ejemplos observados, puede tener una doble función: por una parte, es un elemento más de drenaje, que completa y refuerza la conectividad de todo el sistema, y por otra puede servir para regar los prados o campos de cereal adyacentes. Para ello, se ubican en zonas llanas bajas o ligeramente elevadas y se recrecen los laterales cada vez que se limpian, pues por su propio diseño y ubicación, tienden a colmatarse. Al circular el agua a cota más alta que la superficie lateral, pueden derramar el agua en ellos si interesa. Un caso de este tipo es el de la derivación N del tramo final del Bco. de la Cañadilla (fig. 3.10 y 3.12).



Figura 3.12: Ejemplo de zanja/acequia que puede ser utilizada para regar prados. Sus aguas, derivadas del Barranco de la Cañadilla afluyen directamente al Río Seco.

Fuente: Autor.

En realidad, esta modalidad de modificación de cauces está a caballo entre el control de la erosión y el aprovechamiento de escorrentías, que analizaremos en el apartado siguiente.

En los tres tipos de corrección de la red fluvial natural, el elemento fundamental de control de la erosión es mantener vegetada la acequia: se ha de conseguir un equilibrio entre una vegetación abundante y bien enraizada que tapice el fondo y las paredes de los canales (favorecida por la propia acumulación de humedad en ellos), pero que no llegue a taponar el canal y lo haga inservible.

B- APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍAS

Derrames

El aprovechamiento esencial del agua de escorrentía es el de los derrames en prados. Ya hemos apuntado anteriormente el frágil equilibrio que se da en este sector entre las condiciones climáticas y su dedicación agropecuaria, en la que se combina el ganado ovino y el bovino. Dado que las lluvias invernales son escasas y las tormentas suponen un *input* hídrico imprescindible en los momentos de más calor, para obtener prados más feraces, es conveniente regarlos suplementariamente con aguas de arroyada. Si el diseño es adecuado, se convierte en un riego pasivo muy eficiente. Pero, como sólo pueden habilitarse reductos limitados, aislados y sin conexión espacial, es necesario cerrarlos con muretes de piedra, para que el ganado no paste libremente. La “cerrada” aislada, con prado para el ganado bovino, es un elemento característico del paisaje monteagudino (ver fig. 3.13).

En las figuras. 3.10 y 3.11 se pueden observar varios ejemplos de prados. La mayor parte de ellos están cerca de colectores de la red fluvial que tienen ya una cierta importancia, lo que demuestra su conexión. Para conseguir derramar el agua dentro del prado es necesario realizar siempre algún tipo de modificación de la red fluvial. La más fácil es la “laterización” del cauce principal, que va ganando altura respecto a su vaguada, convertida en prado. Así ocurre en el prado SW del Mas de Cipriano (ver fig. 3.11). Pero también pueden diseñarse acequias de derivación lateral desde el cauce principal (prados NE del Mas de Cipriano, fig. 3.11), o pueden excavar acequias de drenaje que queden más altas que las tierras de alrededor (ya señalado anteriormente en el apartado de *Corrección de cauces*). Incluso, pueden derramarse en puntos en los que se pierde la red fluvial, en un claro ejemplo de rotura de conectividad (por ejemplo, el derrame final del Bco. de la Cañadilla, fig. 3.11).

Es tan importante este tipo de gestión que nos induce a pensar que el mismo emplazamiento de las masías depende en buena medida de que puedan tener este tipo de elementos: una fuente cercana, un curso de cierta importancia y una topografía del valle mínimamente adecuada en anchura y pendiente. Con ello consiguen tener lo más cerca de la vivienda las cerradas para el ganado y las acequias que tienen que gestionar para obtener derrames en casos de avenida.

El mejor ejemplo dentro del sector estudiado es el Mas de Cipriano (fig. 3.14 y fig. 3.15), que tiene incluso una balsa rellenable con agua de escorrentía. Pero no es el único ejemplo: la cercana Masía de la Vega también tiene todos estos elementos.



Figura 3.13: Cerrada con prado para el ganado con derrame de los sobrantes de los bancales superiores (ver fig. 3.10) en el tramo final del Bco. de la Cañadilla.

Fuente: 3.13-A: IGN, 2015. 3.13-B: Google Earth, 4/2015.

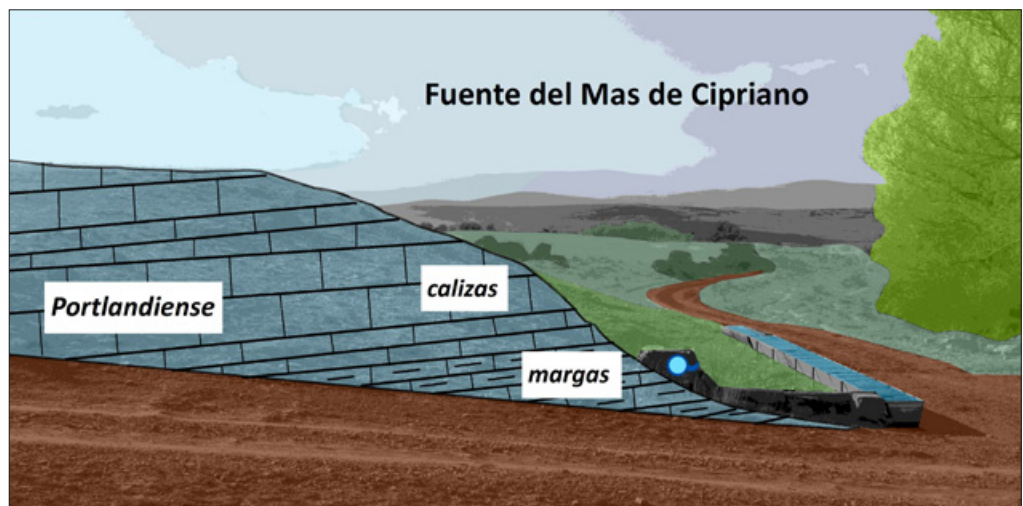


Figura 3.14: Esquema hidrogeológico de la fuente del Mas de Cipriano.

Fuente: Penalba y Pérez Cueva (2013).

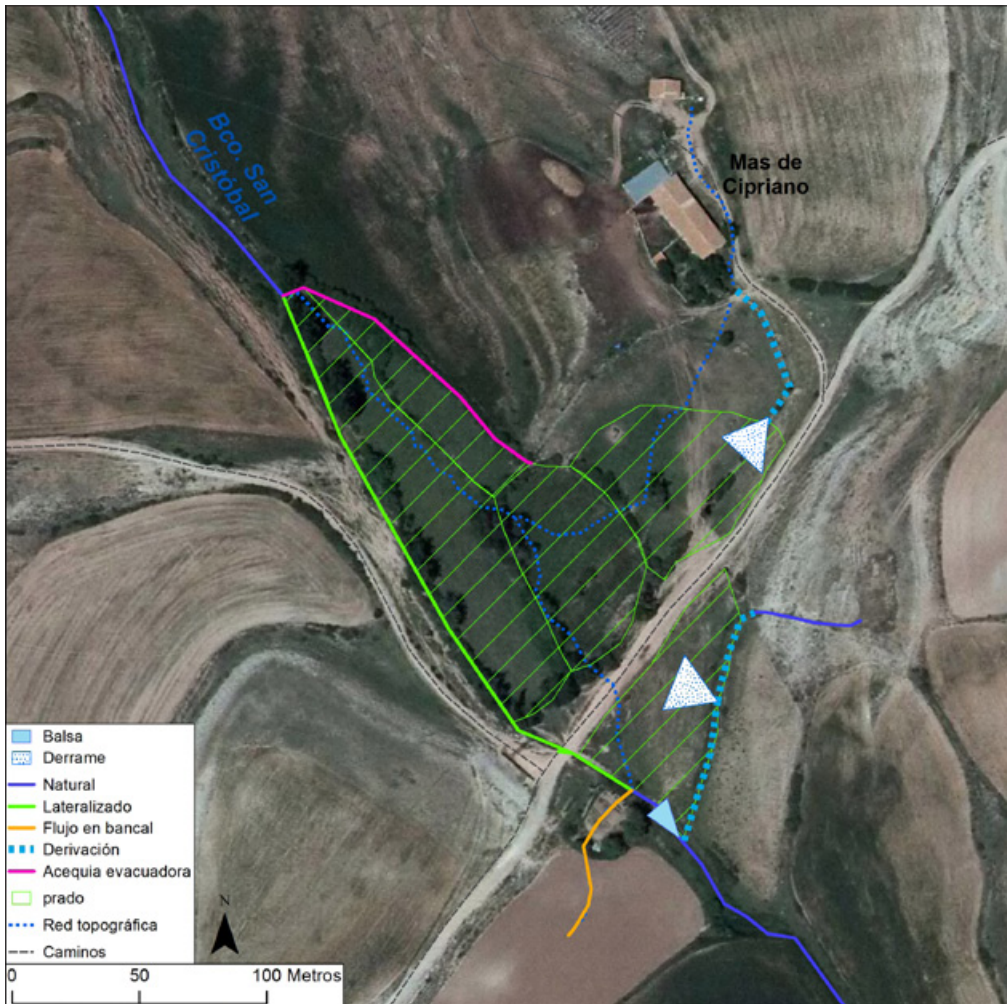


Figura 3.15: Ejemplo de prado situado aguas abajo de cauce “lateralizado”.

Fuente: Elaboración propia.

Balsas

Es otro tipo de aprovechamiento del agua de escorrentía, aunque menos frecuente. No nos estamos refiriendo a las múltiples charcas para el ganado de aguas de arroyada que se dan en todo el término y en toda la región (muy presentes en el Maestrazgo), sino a balsas asociadas a cauces.

Son un elemento más de aprovechamiento de la arroyada y están asociadas casi siempre a cauces modificados (cauces lateralizados, acequias de derivación) (figs. 3.10, 3.11 y figs .3.16...). Su función es normalmente la de complementar el aprovisionamiento hídrico para el ganado (especialmente importante cuando hace calor, que coincide con el momento de ocurrencia de las tormentas). Pero a veces estaban ligadas a microrregadíos de masías, sobre todo si disponían del aporte extra de un pequeño manantial.



Figura 3.16: Ejemplo de balsa asociada a una acequia de derivación de escorrentía en el tramo final del Barranco de la Cañadilla.

Fuente: Autor.

Caños

Un caso especial de incremento del drenaje en zonas abancaladas son los *caños*, que en su diseño antiguo eran zanjas subterráneas rellenas de piedras gruesas y tapadas en superficie con tierra, con suficiente grosor como para poder ser labrada sin dificultad.

Es un sistema de drenaje que se complementa con los “enjuagadores” y acequias de evacuación superficiales, pues permite que el campo no se encharque demasiado, sin necesidad de echar mano de estos elementos que parcelan el terrazgo y fragmentan el espacio cultivable. En otras palabras, si el encharcamiento es considerable, se utilizan canales superficiales, pero si es moderado, aunque indeseable, se puede solucionar con caños.

El caño es otro elemento con una doble función, de drenaje y aprovechamiento: a veces, a la salida del caño puede haber una balsa, aunque lo normal es que el rezume se aproveche en forma de un pequeño heno, muy útil como pasto y refugio del ganado ovino, o incluso con una fuente. En el término municipal de Monteagudo del Castillo existen al menos 7 fuentes asociadas a caños: Caño del Camino de San Pedro, Caño del Cerrado del Bastero, Caño en las Cabezadas, Caño en el Camino de la Vega a las Cabezadas, Caño del Tío Fortunato en el Cerrado de Navarro, etc. (Penalba y Pérez Cueva, 2013).

En **conclusión**, en este caso estudiado de la gestión de las aguas de arroyada producidas por tormentas estivales en Monteagudo del Castillo, se observa un preciso y delicado equilibrio de adaptación al medio (climático, topográfico, litológico...). Con ello, se obtienen unos usos agropecuarios del suelo cerealistas y de ganado bovino, y se controla la erosión. Se trata, además, de una gestión del agua como riesgo o como recurso con rápidos cambios en el espacio. No se ha podido apreciar ningún tipo de factor cultural o histórico que explique las soluciones adoptadas.

3.1.2. El caso del valle del Bco. de Cabrera (Segorbe)

El Barranco de Cabrera, en el Palancia medio, reúne también las dos facetas expuestas: el agua como recurso y el agua como problema. Como veremos, se trata de una pequeña cuenca labrada en los materiales impermeables del Keuper, lo que hace que las lluvias torrenciales puedan presentar problemas de erosión. Pero a la vez es una zona con sombra pluviométrica de las sierras Calderona y Espadán. Allí el labrador ha tenido que ingeniar sistemas que conjuguen el aprovechamiento de las precipitaciones y que defiendan el terreno de la erosión acelerada.

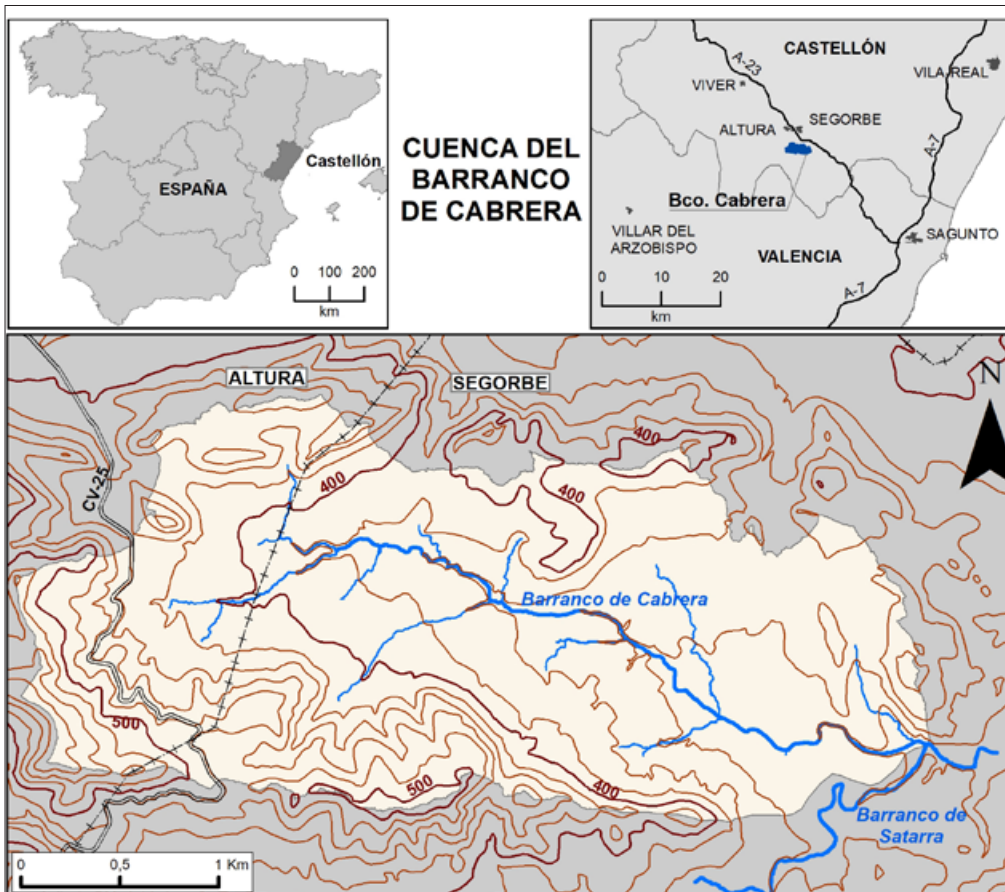


Figura 3.17: Localización del área de estudio del Bco. de Cabrera (Segorbe).

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.1. Características del área de estudio

La cuenca del Barranco de Cabrera se sitúa en la provincia de Castellón, unos 3 kilómetros al sur de Segorbe (ver fig. 3.17), en la cuenca del Barranco de Satarra. Este barranco es afluente directo del río Palancia, a la altura de Soneja. Tiene una pequeña cuenca con una superficie total de 7'4 km² y a unos 350 m de altitud sobre el nivel del mar.

A- GEOLOGÍA

Es relativamente simple: la cuenca está constituida por una orla periférica de montañas calcáreas del mesozoico (Jurásico y Cretácico), con afloramiento del Triásico superior (en facies Keuper) en el centro. Estos materiales ocupan la mayor parte de la cuenca (48%) y están constituidos por margas y arcillas abigarradas, con yesos grises, y con intercalaciones ocasionales de niveles carbonatados de poco espesor (IGME, 1974) (fig.3.18). Las montañas calcáreas circundantes son principalmente afloramientos del Lías (carniolas y calizas tableadas), que ocupan un 18% de la cuenca, y en menor medida del Cretácico inferior.

El Cuaternario se sitúa en la parte central de la cuenca. Son coluviones que aparecen encostrados sobre los relieves mesozoicos, constituidos por arcilla rojiza con cantos sueltos, y depósitos aluviales-coluviales del fondo del valle, formados por arcillas con cantos poligénicos. Es difícil observar sedimentos de pequeñas terrazas fluviales, formadas también por cantos angulosos, pero sin matriz de arcillas.

B- MODELADO

La morfología de la cuenca de Cabrera es también muy simple: laderas en materiales calcáreos de Jurásico y Cretácico en la periferia, que circundan a glacis labrados sobre materiales del Keuper. Son glacis de erosión-sedimentación, con arcillas de manto de arroyada en las partes distales, cuya sedimentación ha sido favorecida por sus bajas pendientes del tramo medio-bajo (fig. 3.19).

En ocasiones, debido a la erosión en los tramos finales de algunas acequias, se ven capas de conglomerado del nivel G2-T2, correspondiente al Pleistoceno medio (Simón, 1984; Pérez Cueva, 1985; Estrela, 1986). Son finas capas encostradas de conglomerados de tipo aluvial-coluvial, y no sedimentos típicos de terraza fluvial. Tampoco se pueden encontrar apenas sedimentos asociables a la terraza T1.

Probablemente el pequeño tamaño de la cuenca haya contribuido al escaso encajamiento post-G2-T2, ya que se mantenga la morfología de este nivel morfogenético G2-T2. Esto se puede apreciar en la figura 3.19, que muestra las pendientes de la cuenca en intervalos significativos desde un punto de vista geomórfico. Se observa muy bien que en el centro del valle dominan las pendientes entre 0° y 3°, que corresponden a bancales de los tramos medios y bajos de los glacis G2. El sector con pendientes entre 3° y 12° en torno a los barrancos del centro del valle correspondería a las partes medias y altas de los glacis y al encajamiento de la red post-G2-T2.

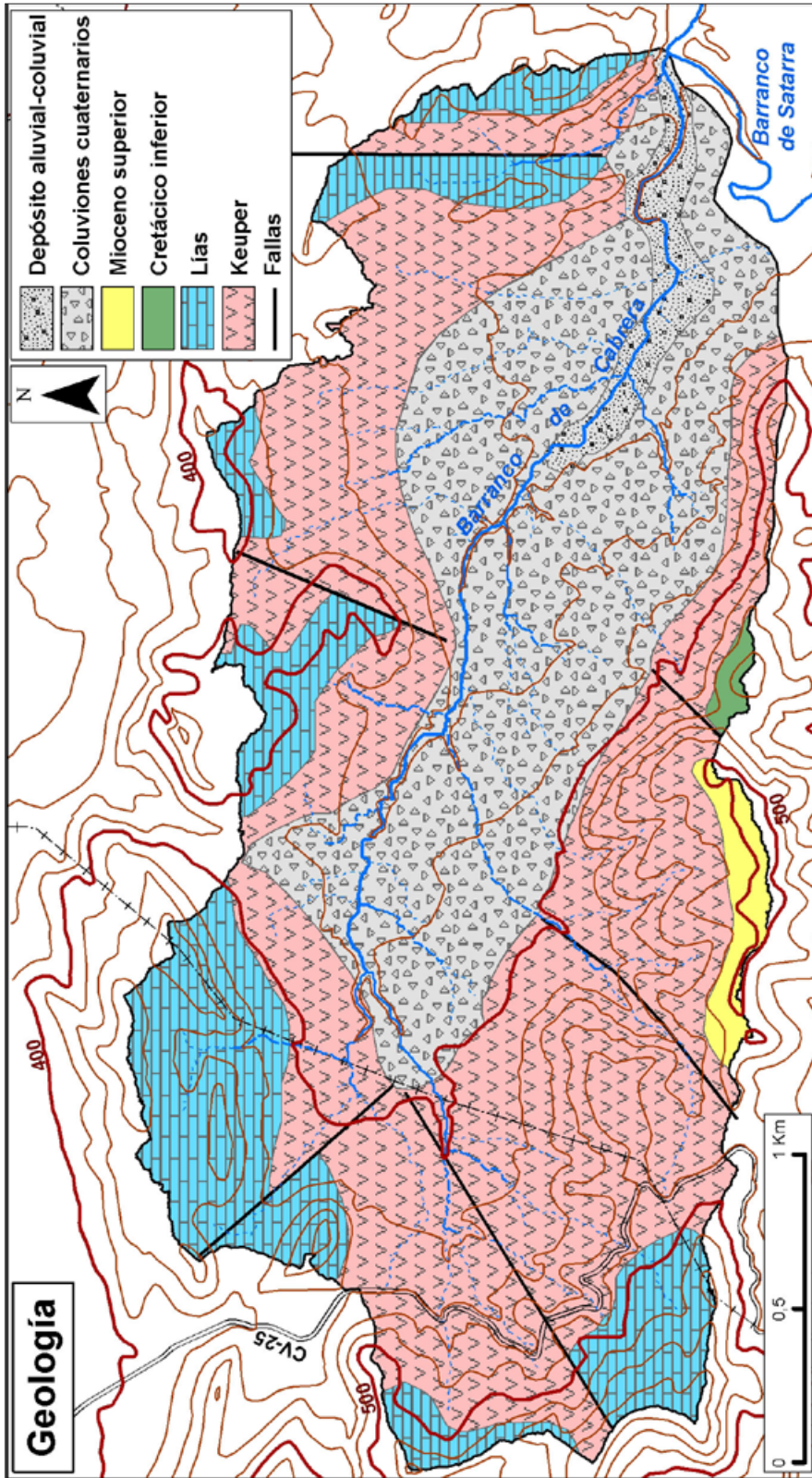


Figura 3.18: Mapa geológico de la cuenca del barranco de Cabrerá.
Fuente: Elaboración propia, a partir de IGME (1974).

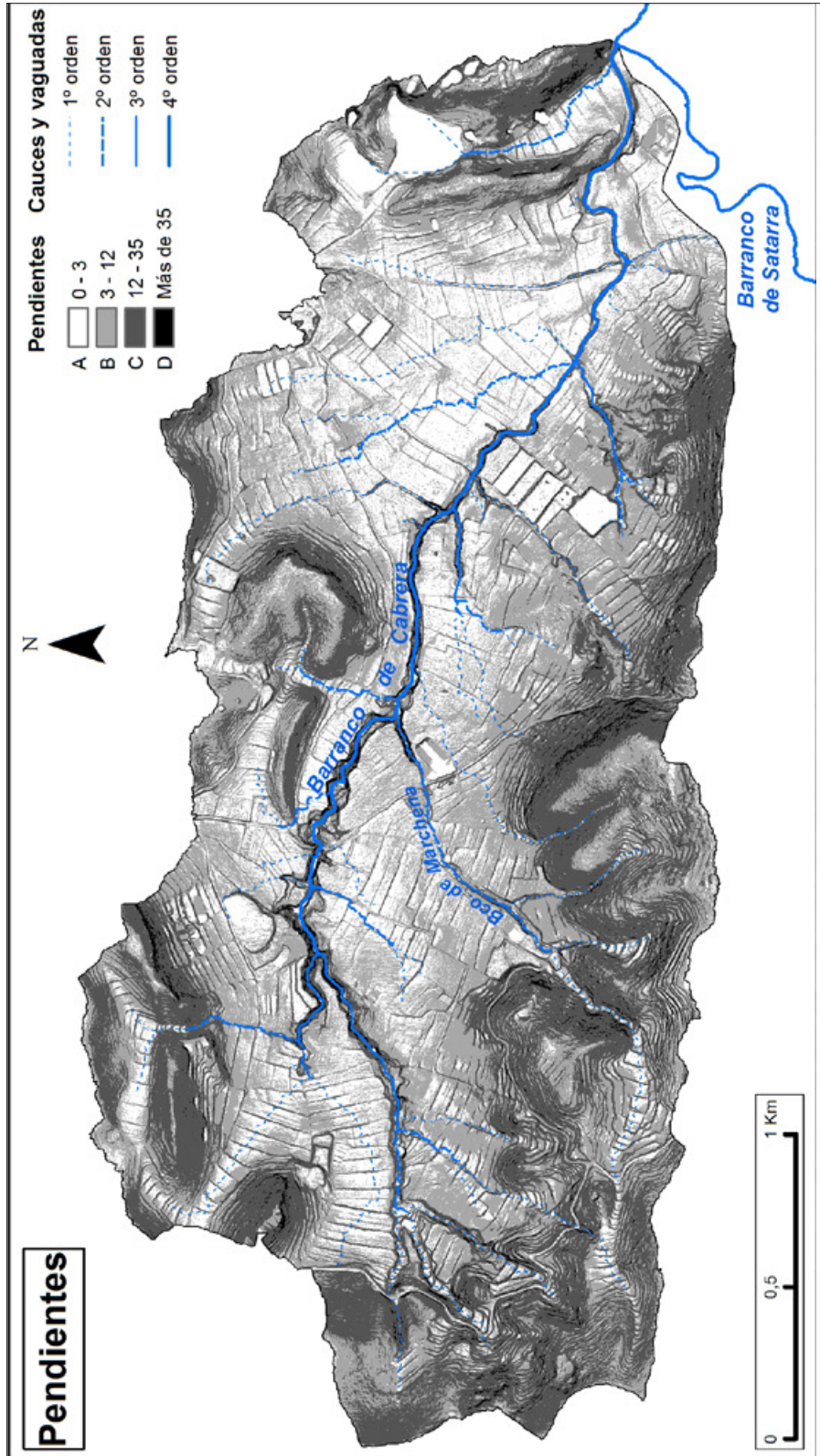


Figura 3.19: Mapa de pendientes de la cuenca de estudio en grados. A) Zonas llanas. B) Glacis y piedemontes. C) Laderas. D) Cantiles y paredes.
Fuente: Elaboración propia.

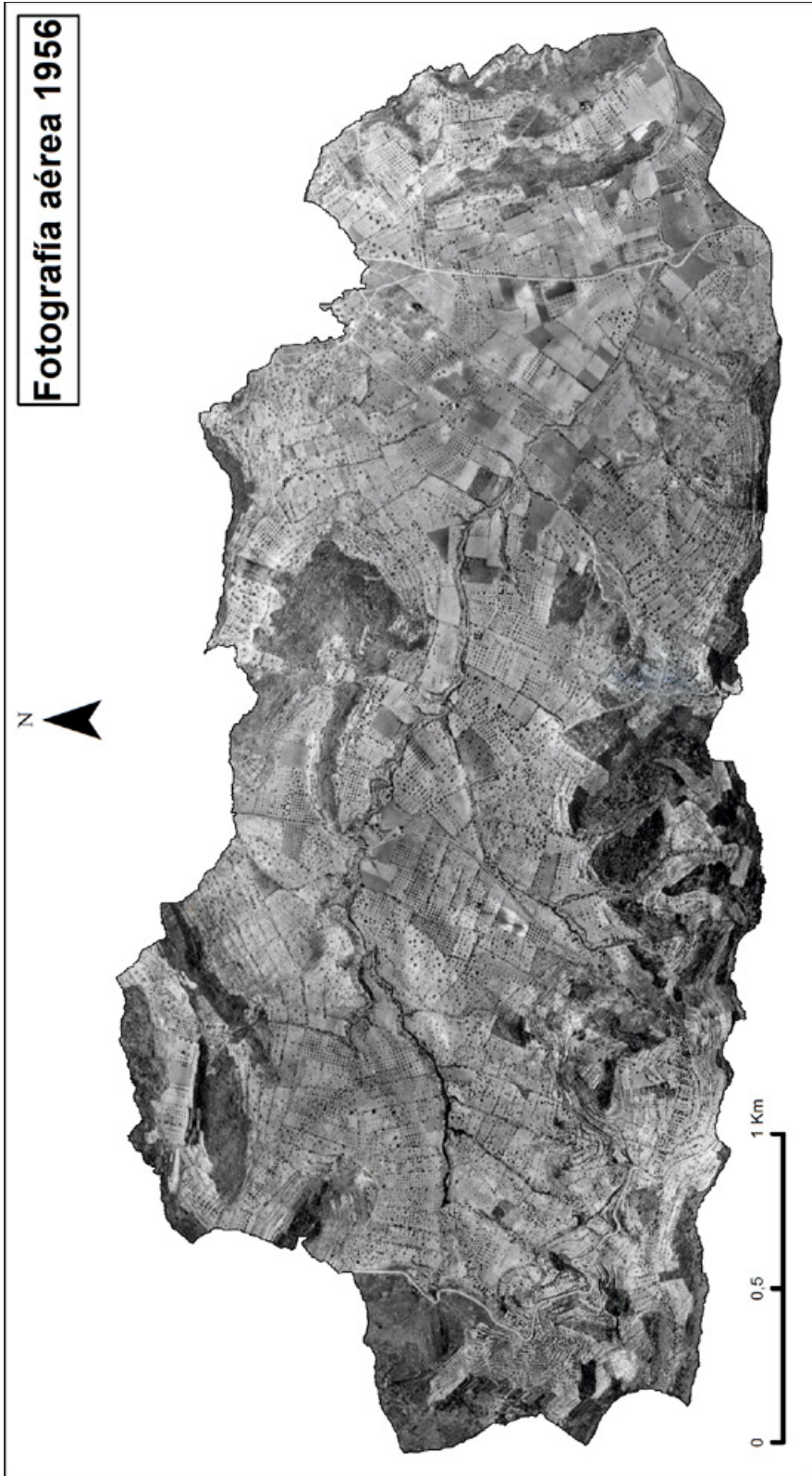


Figura 3.20: Fotografía aérea de la cuenca del Barraco de Cabrera de Cabrera del vuelo “americano” (14 de mayo de 1956).
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, ni es el paisaje dominante del centro del valle, ni se alcanzan pendientes superiores a 12°, que indicarían fuertes encajamientos de la red fluvial, excepto en las paredes del barranco principal. En conclusión, el glacis G2-T2 muestra un equilibrio erosivo que sólo se ha visto alterado por el encajamiento reciente de la red (con morfología de arroyo), sin la terraza T1 del Pleistoceno superior).

El tramo de pendientes entre 12° y 35° corresponde a las laderas, aunque éstas, en su parte superior, presentan convexidades que vuelven a hacer que disminuyan las pendientes.

C- ACCIÓN ANTRÓPICA

La actividad humana ha ocupado casi totalmente estas tierras, tanto las del perímetro exterior del valle, de suelos más pobres, como las fértiles del centro, así como las faldas de las laderas que confinan el valle (Pérez Cueva, 1985). En la fotografía aérea de 1956 se ve que el glacis y las laderas están ocupados densamente por campos de cultivo (ver fig. 3.20). Actualmente, las laderas están menos ocupadas, sobre todo las partes con mucha pendiente, donde el abandono de los campos es casi total. Pero el glacis sigue estando ocupado por campos de secano dedicados al cultivo de olivos.

D- CLIMA Y VEGETACIÓN

Se caracteriza por presentar un régimen mediterráneo, de inviernos moderados y veranos algo calurosos, con un claro periodo seco durante la época estival y predominio de las lluvias otoñales. Es un clima de transición entre el de la llanura litoral, más cálido y torrencial, y el de las montañas del interior, más fresco, con lluvias menos intensas, y máximos equilibrados entre otoño y primavera (Clavero, 1977; Clavero, 1994).

Para analizar la temperatura y las precipitaciones contamos con los datos de tres observatorios en la zona de trabajo, facilitados por el Atlas climático de la Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994). Uno de ellos es un observatorio termopluviométrico (Segorbe-HS, altura 364 m) y los otros dos son pluviométricos (Segorbe, Masía de Cruz, altura 325 m), (Segorbe, Masía de la Hoya, altura 470 m) (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1: Observatorios y parámetros generales de precipitación en la zona del Bco. de Cabrera.

Estación	Precipitaciones (mm)	Número medio de días de precipitación	Cociente de intensidad diaria
Segorbe-HS	485'3	53'2	9'1
Segorbe, Masía de Cruz	489'6	42'3	11'4
Segorbe, Masía de Hoya	501	41'1	12'3
Promedio	492	45'5	10'9

Fuente: Elaboración propia, a partir de Pérez Cueva (1994).

La temperatura media anual en la zona es de 15'8°C. La temperatura media del mes más cálido llega hasta 23'8°C en julio y agosto y la temperatura media del mes más frío es de 9'2°C en enero. La amplitud térmica diaria media anual, que llega hasta 9'6°C, es más elevada que la del litoral a causa de cierta continentalidad (fig. 3.21).

Las precipitaciones del valle del Palancia sufren un efecto moderado de sombra pluviométrica respecto a los flujos de NW de origen atlántico, y respecto a los flujos de E y NE de procedencia mediterránea (Pérez Cueva, 1994, p. 128). El promedio anual de las precipitaciones en la zona (tres observatorios) es de 492 mm, aunque se observa una ligera tendencia a la disminución de lluvias de costa a interior. El carácter de zona de transición se observa en la suavización del máximo otoñal, que no llega a la fuerte concentración de la franja costera, pero todavía supera a las lluvias primaverales (fig. 3.22).

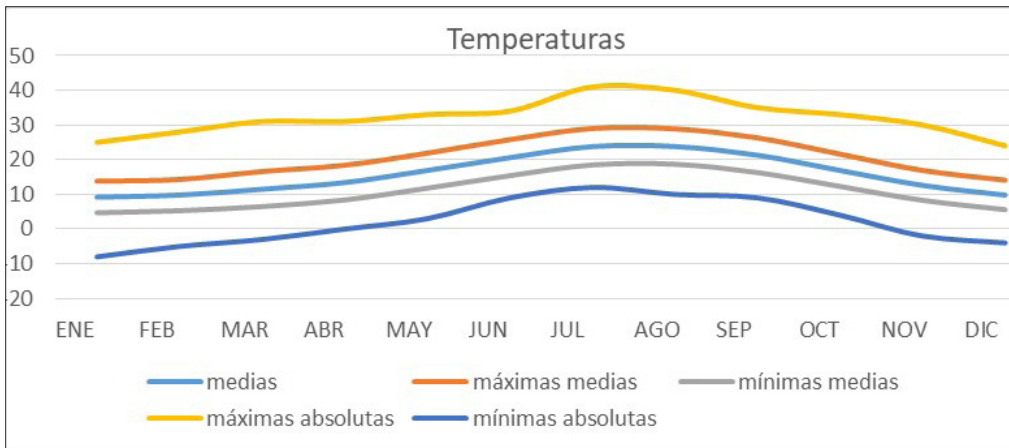


Figura 3.21: Régimen térmico anual de la estación Segorbe-HS.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Pérez Cueva (1994).

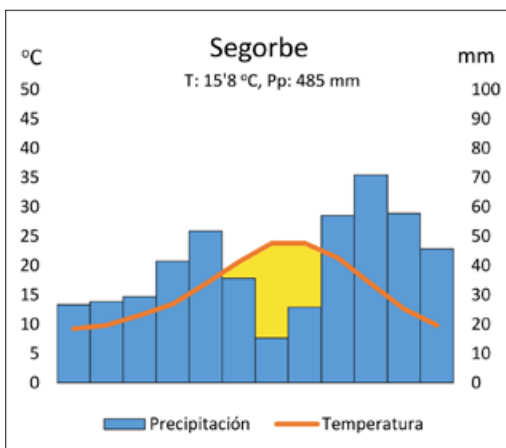


Figura 3.22: Diagrama de Gauss para la estación de Segorbe-HS.
Fuente: Elaboración propia, a partir de Pérez Cueva (1994).

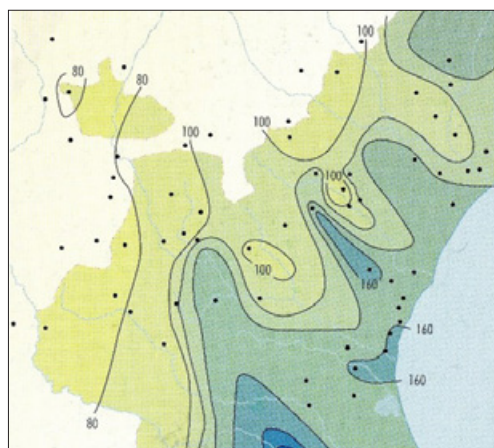


Figura 3.23: Distribución espacial de la precipitación máxima en 24h en un periodo de recurrencia de 10 años, según el método de Gumbel.
Fuente: Martín Vide (1994).

Así, el régimen de predominio estacional es OPIV, característico en la fachada oriental ibérica. El mínimo estival se debe a la marcada estabilidad atmosférica de los meses del verano, gracias al dominio de las situaciones anticiclónicas (Peñarrocha, 1994, p. 90). En otoño, por el contrario, se combina una frecuente inestabilización de los niveles altos con un Mediterráneo todavía cálido, que suministra el calor y la humedad necesaria para las lluvias torrenciales (Armengot, 1994, p. 51). Esta alta intensidad de las lluvias se puede observar, por ejemplo, en los valores de recurrencia de los volúmenes de precipitación diaria, según el método de Gumbel (Martín Vide, 1994, p. 95) (fig. 3.23). La zona de estudio alcanza valores cercanos a los 100 mm, en recurrencias de 2 y 5 años, y llega a valores de 140 mm, en recurrencias de 20 años.

Estos valores son algo inferiores a los de las montañas circundantes y a los de la franja costera, por el efecto de sombra pluviométrica. Pero es bien sabido que el método de Gumbel infraestima las lluvias máximas, y que son más adecuados métodos como el SQRT-ETmax (Ferrer Polo, 2003). Por ello, estimamos que las recurrencias de las lluvias diarias máximas en 20 años pueden superar los 200 mm. En todo caso, podemos afirmar que la intensidad de la lluvia, sin llegar a alcanzar los valores de zonas cercanas, es suficientemente alta como para justificar el diseño de medidas especiales de lucha contra la erosión.

La vegetación que se adapta a este clima es la de transición entre dos pisos bioclimáticos, el termomediterráneo ($T > 16$; $M > 13$; $m > 5$; $tm > 9$; $m1 > -3$; H: XII-II), y el mesomediterráneo ($T < 16$; $M < 13$; $m < 5$; $tm < 9$; H: XI-IV) (Costa, 1982, p. 131)... ...donde T: temperatura media anual, M: temperatura media de las máximas del mes más frío, m: temperatura media de las mínimas del mes más frío, tm: temperatura media de las mínimas del mes más frío, m1: media de las mínimas absolutas del mes más frío, H: meses en los que, estadísticamente, son posibles las heladas.

Aplicando los datos climáticos de la estación Segorbe-HS, vemos que M, tm y m1 coinciden con el piso termomediterráneo, y T, m y H, los que coinciden con el piso mesomediterráneo. Aunque según la altura media de la cuenca (en torno a los 350 m) la vegetación debería estar en el piso termomediterráneo, a causa de la continentalidad y el consiguiente alejamiento de los efectos marítimos nos encontramos en una zona de transición. En cuanto a la precipitación estamos en un ombroclima seco (precipitación de 350 a 600) (Costa, 1982, p. 132).

3.1.2.2. Los sistemas antrópicos de drenaje

Gran parte de la cuenca del Bco. de Cabrera tiene una modificación antrópica del drenaje, no solo en cuanto a los cambios de pendientes, infiltración y conectividad que suponen los bancales de cultivo, sino en cuanto a la organización de la escorrentía concentrada. Esta escorrentía está controlada por dos tipos de acequias, unas de recolección de agua y otras de evacuación, que se organizan a muy diferentes escalas. Algunas son simples acequias que conducen las aguas sobrantes de los bancales bajos

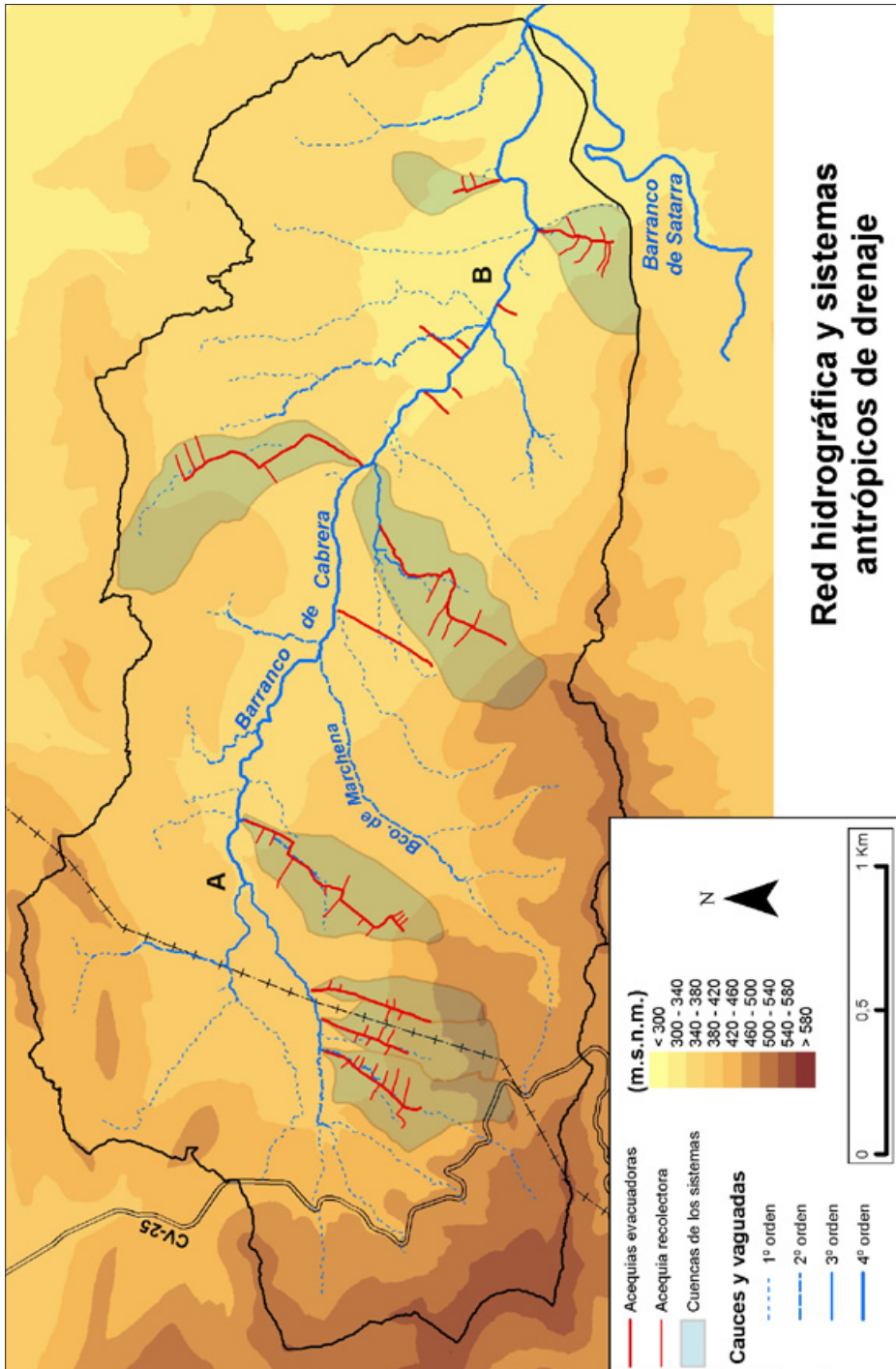


Figura 3.24: Red hidrográfica y sistemas antrópicos de drenaje en el Bco. de Cabrera.
Fuente: Elaboración propia.

al barranco principal, con recorridos de pocos metros (como las cartografiadas en la fig. 3.24, sectores A). En otros casos se trata de sistemas simples de acequias evacuadoras conectadas (fig. 3.24, sectores B). Pero también puede tratarse de sistemas complejos con acequias de diferente función y dimensiones totales cercanas a 1 km (sistemas de Viveros, Portapan...).

A- SISTEMA VIVEROS

Características y estructura

Su nombre hace referencia a la explotación agrícola de viveros que se extiende en él y en su alrededor. Empieza el sistema desde el monte, con una serie de bancales en ladera de mucha pendiente, y sigue por el glacis hasta llegar al barranco principal a través de un conjunto de acequias (fig. 3.25). Estas llegan a desaparecer en un tramo, pero dejan rastros de flujo de agua.

Se encuentra este sistema al sur del Barranco de Cabrera. Tiene una cuenca receptora de 157.000 m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 750 m. Esta acequia recibe el agua de las acequias recolectoras situadas a veces en los pies de bancales transversales a la pendiente dominante en la cuenca del sistema. Otras veces se encuentran delimitadas por los caminos, formando zanjas laterales.

Se estructura en dos colectores. El más grande empieza desde el monte con una serie de bancales protegidos con paredes de piedra en seco. Las aguas sobrantes de estos bancales se recolectan por un talud doble, con la acequia a media altura (fig. 3.26 A-A'). Termina este talud y acequia en un conducto debajo de un camino y luego sigue en el sentido de máxima pendiente hasta que desaparece, formando un derrame (fig. 3.26 C-C'). Posteriormente el agua vuelve a concentrarse en un gran salto curvo construido en una esquina de un bancal. Se trata de una esquina NE, que recoge no sólo las aguas de derrame de la acequia sino también toda el agua del gran bancal.

A partir de este salto la acequia gira en un ángulo casi recto, sigue por el glacis y vuelve a girar otras dos veces en ángulos rectos también, dejando notar de forma muy clara su origen antrópico. Después sigue hasta llegar a otro salto donde se unen los dos colectores principales del sistema. Tras este punto sigue una acequia única hasta llegar al Barranco de Cabrera.

La segunda parte es una zanja formada al borde de un camino que arranca también desde la montaña, recibe el agua de la parte derecha de la cuenca y la desagua a la otra parte del sistema a través de dos conductos debajo del mismo camino.

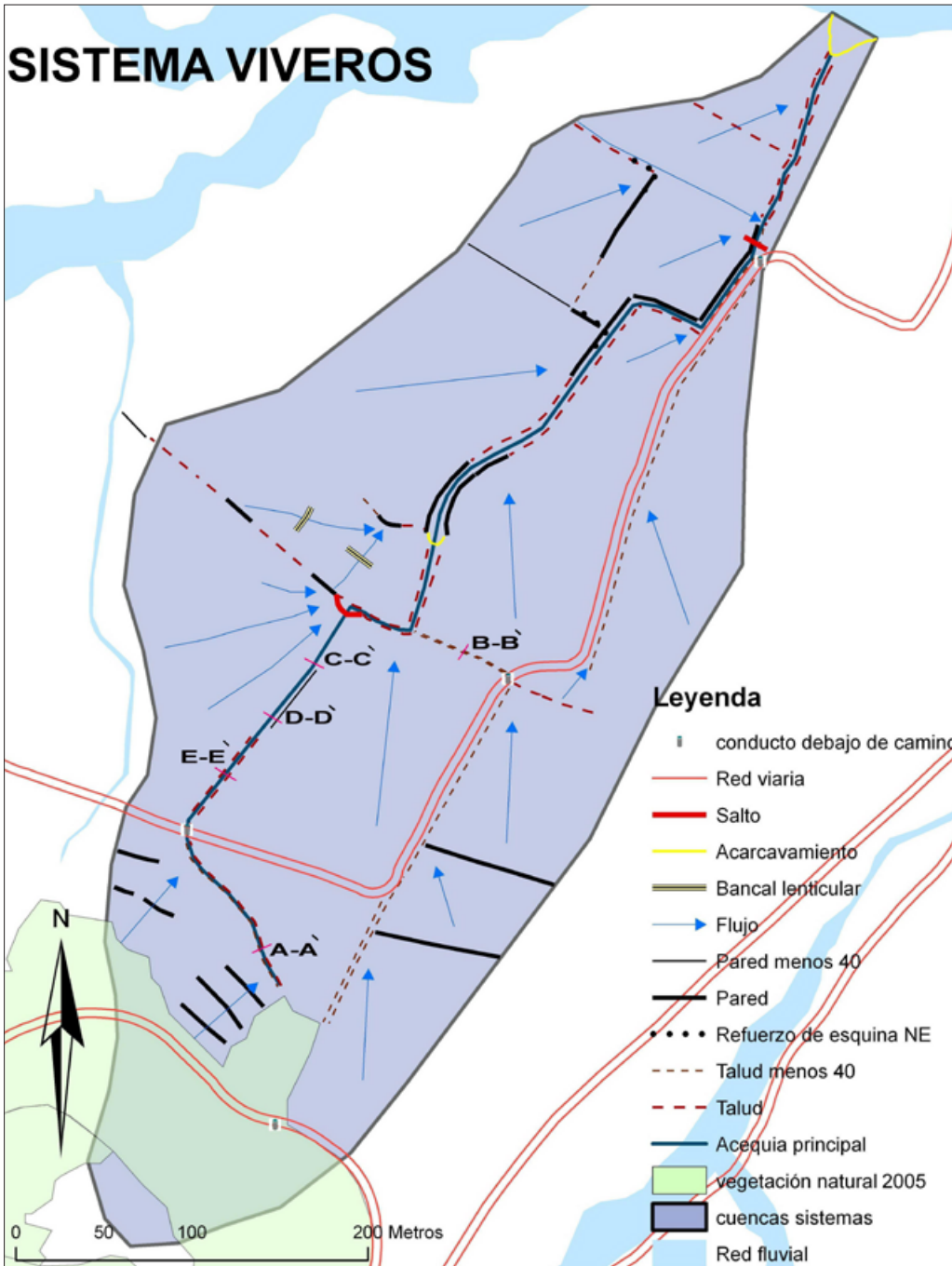


Figura 3.25: Mapa del sistema Viveros.

Fuente: Elaboración propia.

Elementos de defensa

a. El primer elemento de defensa que se puede destacar son las **paredes de piedra en seco** que protegen los taludes. Se pueden observar principalmente en la cabecera de la cuenca del sistema y en unos tramos a lo largo de la acequia principal. En algunas ocasiones, por falta de piedra u otra razón, el labrador no ha protegido todo el talud, y sólo lo protege en algunos tramos.

b. El conjunto de la cuenca de Cabrera tiene dos componentes de **pendiente**: una hacia el barranco central y otra hacia el E, hasta su confluencia con el Bco. de Satarra, de modo que el agua tiende a acumularse en las esquinas NE de los bancales de la mitad sur y en las esquinas SE de los bancales de la mitad norte. En algunas de estas esquinas de bancales donde se acumulan los dos componentes de la pendiente, al ser los puntos más débiles, se ha prestado más atención, reforzándolos de forma especial.

c. Otro elemento de defensa en este sistema son los **bancales lenticulares**, que se construyen en los puntos de microtopografía cóncava para evitar la concentración de flujos de escorrentía. En este sistema se ve que los bancales lenticulares coinciden con tramos de pared en el talud anterior, lo que indica que el flujo en los bancales está concentrado por la microtopografía y hace necesarios los refuerzos.

d. Dispone este sistema de **dos saltos**. El primero tiene una forma curva, recoge la escorrentía de toda la parte superior de la cuenca y la concentra en la acequia (fig. 3.27-A). El segundo es justo antes de que se unan las dos partes del sistema, y es un salto recto de dos metros de altura (fig. 3.27-B).

Además de los elementos de defensa mencionados antes, se pueden observar defensas esporádicas en puntos débiles, como por ejemplo las rampas y acumulaciones de piedra dentro de las acequias o en taludes donde ha empezado una pequeña incisión.

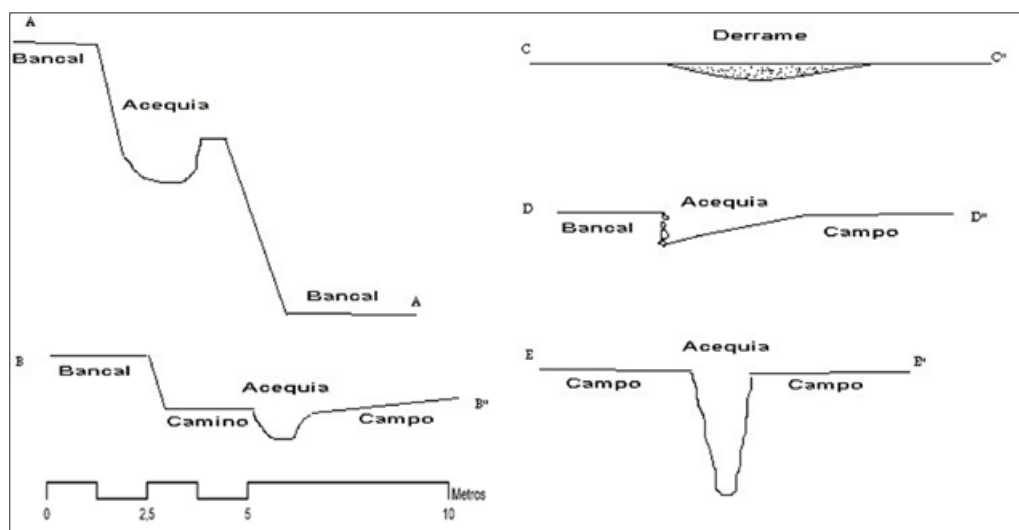


Figura 3.26: Perfiles en diferentes puntos de las acequias.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.27: A-Salto curvo, que recoge la escorrentía de toda la parte superior de la cuenca y la concentra en la acequia; B-Salto recto, en el tramo final del sistema Viveros.

Fuente: Autor.

B- SISTEMA TORNERO

Características y estructura

Viene el nombre de este sistema de un monte que se llama Collado de Tornero. El sistema empieza en la ladera norte del mismo monte y sigue por el glacis. Allí empiezan las obras de defensa y la formación de la acequia que llega hasta el Barranco de Cabrera.

Se encuentra al sur de la parte central del Barranco de Cabrera. Tiene la cuenca receptora más grande entre los ocho sistemas descritos en este apartado: 251.000m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 610 m.

Se estructura en tres unidades: la cabecera, la cuenca media y la cuenca baja. La cabecera es una zona de monte con restos ocasionales de antiguos banales abandonados. Las aguas sobrantes de lluvia que recibe la cabecera fluyen de forma difusa a la cuenca media por encima de un camino de tierra que separa estas dos unidades (fig. 3.29).

En la cuenca media hay dos partes claramente diferenciadas: en la de la derecha, es el camino el que recoge y conduce las aguas de escorrentía. En la parte izquierda, es donde empieza la acequia a formarse, y recoge el agua de los campos superiores del lado izquierdo y de unas vaguadas del lado derecho. Allí, una serie de banales lenticulares constituyen la protección de los campos de cultivo. Luego la acequia gira en un ángulo recto hasta llegar al fin de los campos y sigue en paralelo con la ladera, recogiendo su escorrentía. En este tramo se ha construido un salto en la acequia, con una altura de 180cm. A partir del salto, la acequia va por el borde del camino y lo atraviesa en un conducto donde se une con el drenaje de borde de camino de la parte derecha.

Tras este punto empieza la tercera unidad del sistema. La acequia, después de pasar por debajo del camino, no tiene un trazo claro. No llega a haber una zona de derrame, como en el sistema de Viveros, pues se observa una línea de concentración de humedad, con árboles grandes, pero no se observan ni signos de conducción antrópica ni encajamiento. Unos 100m más adelante vuelve a aparecer la acequia y luego súbitamente se encaja y sigue así hasta el barranco principal.

Elementos de defensa

El primer elemento de defensa, como en los otros sistemas, son las paredes de piedra en seco que protegen los taludes. En este sistema se puede ver unos elementos añadidos a estas paredes como son los desagües que se ponen en los puntos donde se concentran flujos en la superficie del bancale (fig. 3.28 B). Normalmente se protege la caída con piedras. Estos desagües evitan el lavado de las paredes que es el primer paso en el proceso del desmoronamiento. Otro elemento de defensa son los bancales lenticulares. Los podemos ver en la parte derecha del sistema, contruidos en dos vaguadas pequeñas.

Dispone este sistema de dos saltos rectos, uno en el punto de contacto con el Barranco de Cabrera, que está construido de forma escalonada, lo que le da más fuerza (fig. 3.28 A), y otro en el tramo central de la acequia principal.



Figura 3.28: A-Salto en el punto de contacto de la acequia con el Barranco de Cabrera, B-Desagüe en una pared, en un punto donde se concentran flujos de agua en la superficie del bancale.

Fuente: Autor.

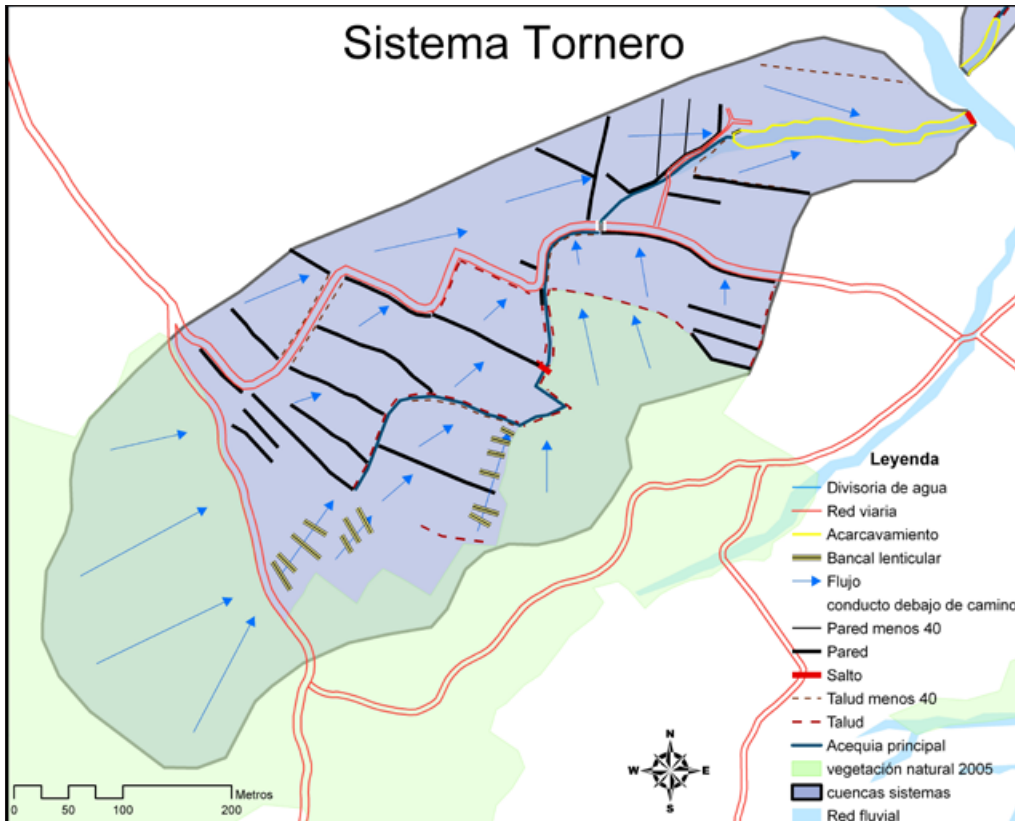


Figura 3.29: Mapa del sistema Tornero.

Fuente: Elaboración propia.

C- SISTEMA VALERO

Características y estructura

Viene el nombre de este sistema de una partida que se llama Valero. El sistema recoge las aguas de la ladera norte una montaña y los campos en sus pies. La ladera tiene una serie de bancales de poca superficie, con paredes de piedra en seco. La cuenca queda delimitada en el norte por un camino que forma su divisoria, por no tener en este tramo conductos de desagüe abajo. Es decir, el camino interrumpe y reduce la cuenca natural. Entre el camino del N y el monte del S podemos observar una amplia vaguada de fondo plano.

Este sistema se encuentra al norte de la parte central del Barranco de Cabrera. Tiene la cuenca receptora bastante grande, de forma curva alargada, con una superficie de 210.000m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 700 m.

A pesar de la gran extensión de este sistema, su estructura es muy sencilla. Podemos distinguir dos partes claras (fig. 3.31). En cabecera, en la parte superior del sistema, la vaguada de fondo plano no necesita tener ninguna acequia, ni siquiera paredes de piedra, como elementos protectores. El drenaje está basado en su parte izquierda en una ladera de poca pendiente cubierta con vegetación natural y unos

bancales estrechos perpendiculares a su pendiente. La mayor parte de esta agua es captada por el camino y conducida fuera de la cuenca natural. Por la parte izquierda, el agua desciende de otra ladera, fluye por aterrazamientos protegidos con paredes de piedra seca y llega hasta la vaguada de fondo plano. Luego fluye de forma difusa por los campos de cultivo, y no es necesario más que pequeños taludes para proteger estos campos de la erosión.

En la parte inferior del sistema la cuenca de recepción ya tiene unas dimensiones mayores, y empiezan las aguas a concentrarse. A partir de la parte media de la cuenca, se inicia la acequia principal. También aquí los bancales son amplios, pero protegidos ya con paredes de piedra. Sigue la acequia por el glacis y atraviesa un camino por un conducto, hasta llegar poco después al Barranco de Cabrera. Está claro que se trata de una acequia evacuatora. Sólo ejerce una función recolectora al inicio, recogiendo la escorrentía lateral de los primeros bancales de piedra, y en dos puntos más, en los que recoge el agua que se concentra en las esquinas de dos grandes bancales de la izquierda.

Elementos de defensa

Las paredes de piedra son el elemento básico de defensa en este sistema. En la ladera, las paredes protegen bancales estrechos y perpendiculares a ella; en el glacis, no todos los bancales están protegidos, sobre todo los de la parte alta de la cuenca, donde basta proteger el talud con vegetación espontánea.

En la parte baja se observan dos esquinas de bancale reforzadas. Las aguas que se concentran allí desbordan por encima del muro y saltan directamente a la acequia (ver fig. 3.30).



Figura 3.30: Esquina de bancale reforzada, en la parte baja del sistema Valero.
Fuente: Autor.

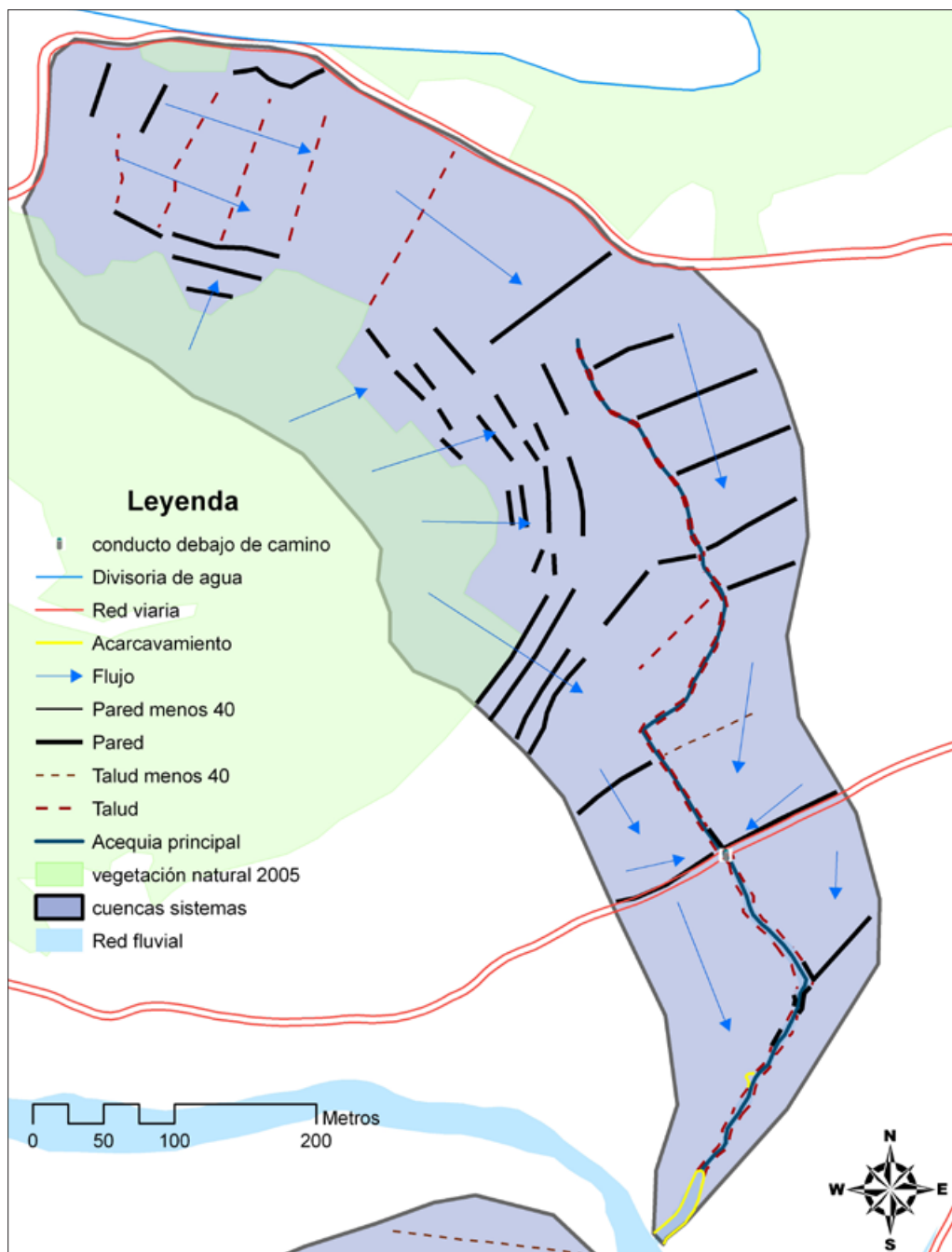


Figura 3.31: Mapa del sistema Valero.
Fuente: Elaboración propia.

D- SISTEMA CABRERA 1

Características y estructura

Viene el nombre de este sistema del camino de Cabrera, que atraviesa la cuenca del Barranco de Cabrera de norte a sur. En este sistema el labrador ha intentado, aparte de evacuar las aguas sobrantes de la lluvia, aprovechar parte de ella a través de sistemas simples de recogida y depósito.

Se encuentra este sistema al sur del Barranco de Cabrera en su cuenca baja. Tiene una cuenca receptora de 110.000m². En su parte sur comparte la misma divisoria del Barranco de Cabrera. La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 233m.

Se estructura este sistema en dos partes, derecha e izquierda. En su parte derecha, la más grande, un conjunto de bancales recibe el agua sobrante del monte y la van conduciendo de forma difusa hasta el inicio de la acequia (fig. 3.33).

En el centro del sistema, tres taludes muy largos y que siguen las curvas de nivel, de altura media de 170 cm, y con reborde de piedra en seco, regulan la escorrentía superficial hasta llegar al último banca. Este tiene una pared que va en paralelo con el camino. En sus pies se ha formado una zanja que conduce el agua hasta la acequia principal.

En la parte izquierda del sistema, el labrador ha establecido un pequeño aprovechamiento de agua de escorrentía basado en la canalización de las aguas sobrantes de ocho bancales a través de un camino protegido con una capa de hormigón de forma cóncava. Este camino conduce el agua hasta un depósito de forma cuadrada (10×5×1'5m) (fig. 3.32).



Figura 3.32: Sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía. A-El camino que conduce el agua; B-El depósito de agua.

Fuente: Autor.

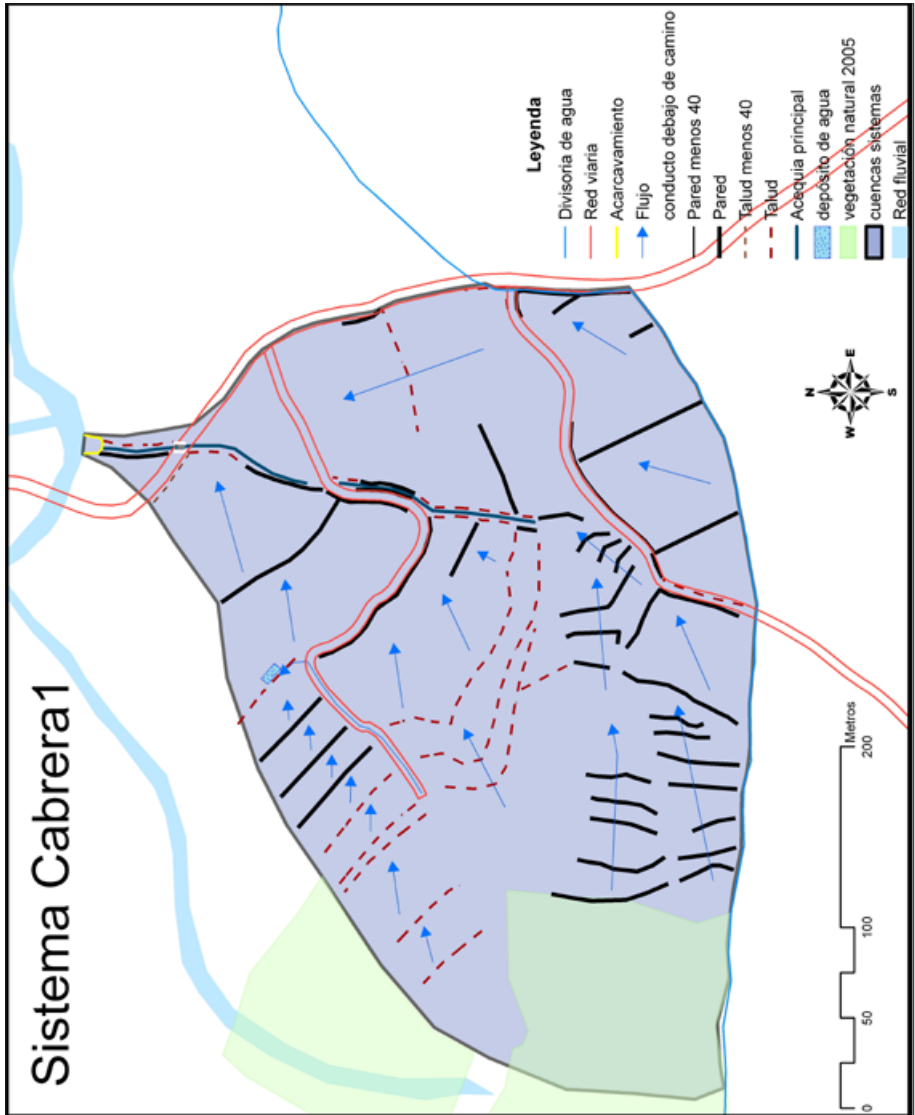


Figura 3.33: Mapa del sistema Cabrera 1.
Fuente: Elaboración propia.

El agua que no llega a depositarse en este sistema de aprovechamiento, sigue por el glacis de forma difusa hasta llegar a la acequia principal.

La acequia principal tiene en su inicio un aspecto claro, formado por dos taludes. A veces se protegen estos taludes con paredes de piedra en seco y en pocos casos con bloques y cemento de obra nueva. Cuando llega al primer camino, lo atraviesa sin ningún tipo de canalización y desaparece. Un poco más adelante, vuelve a concentrarse y atraviesa el siguiente camino con un conducto, y sigue hasta llegar al Barranco de Cabrera.

Elementos de defensa

Los elementos de defensa en este sistema son muy normales y no tienen nada en especial. Los bancales protegidos con paredes de piedra en seco son el elemento básico de defensa. En ocasiones vemos taludes protegidos con dos o tres filas de piedra en seco. Esto se puede explicar por la carencia de material de construcción.

Quizás podemos considerar el sistema de aprovechamiento de agua como un elemento de defensa, a pesar de su capacidad reducida.

E- SISTEMA CABRERA 2

Características y estructura

Viene el nombre de este sistema del camino de Cabrera que va a su izquierda. Este sistema se parece mucho al anterior, tanto por las defensas utilizadas, como por el aprovechamiento de una parte de la escorrentía, en una medida más reducida aún, antes de evacuar el sobrante al barranco principal.

Se encuentra al norte del Barranco de Cabrera, en su cuenca baja. Tiene la cuenca receptora más pequeña entre los ocho sistemas descritos en este apartado y es de 43.000 m². La acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es muy corta, de 65 m. La interrumpe un aljibe un poco antes de llegar al Barranco de Cabrera.

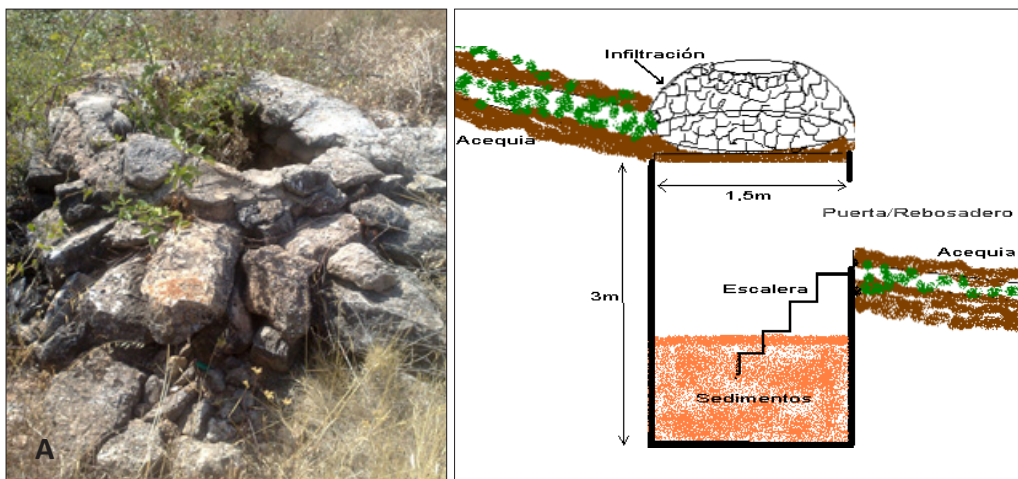


Figura 3.34: Sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía: A-Cúpula que cubre el depósito de agua; B-Croquis del depósito.

Fuente: Elaboración propia.

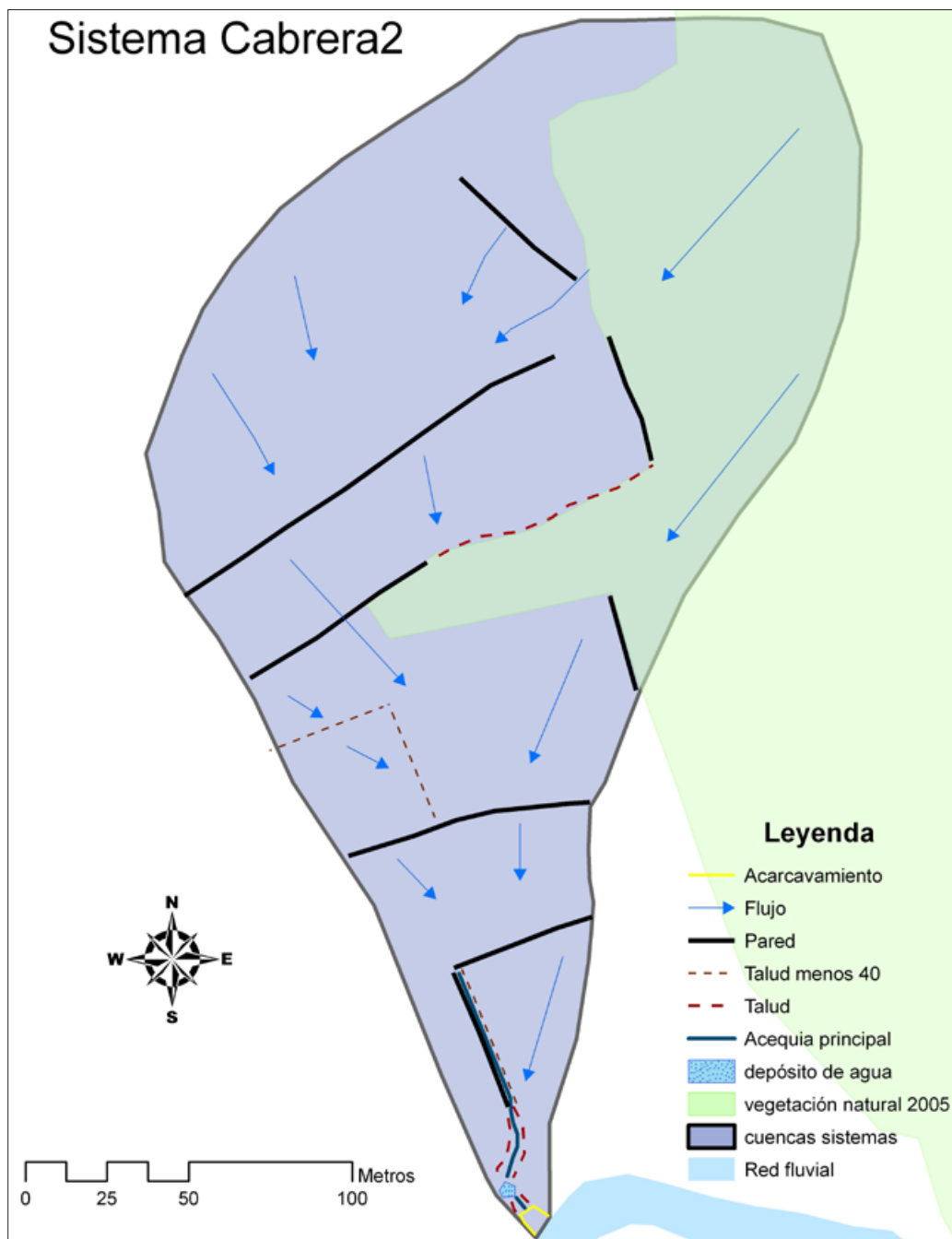


Figura 3.35: Mapa del sistema Cabrera2.

Fuente: Elaboración propia.

Se estructura a partir de una ladera de poca pendiente cubierta con vegetación natural. Fluye el agua que recibe esta ladera de forma difusa a los campos de cultivo de abajo. Estos campos a su vez disponen de bancales con taludes protegidos por paredes de piedra. El agua llega a concentrarse y formar una acequia en el pie de una pared, en la parte baja de la cuenca, y llega al barranco en unos 65 metros.



Figura 3.36: Vista general de los sistemas de Portapán.

Fuente: Autor.

Dispone de un sistema pequeño de aprovechamiento de agua de escorrentía basado en un aljibe situado en la misma acequia, cubierto con una cúpula de piedra en seco que permite el paso del agua. Una vez está lleno el aljibe, las aguas sobrantes salen por su entrada, que da casi directamente al Barranco de Cabrera (ver fig. 3.34 A y B).

Elementos de defensa

Los elementos de defensa en este sistema son tradicionales también. Los bancales protegidos con paredes de piedra en seco son el elemento básico de defensa.

Como el sistema anterior, consideramos el sistema de aprovechamiento de agua como un elemento de defensa, a pesar de su capacidad reducida, pues el sistema tiene una escasa superficie receptora.

F- SISTEMAS DE PORTAPÁN

Hemos tomado el nombre de este sistema de la partida municipal donde se halla (fig. 3.36). Se trata de un conjunto de tres sistemas de características y dimensiones semejantes, que hemos cartografiado en conjunto.

Portapán 1

Empieza desde una ladera totalmente cubierta con vegetación natural. La escorrentía de esta ladera se concentra en un camino y desagua a los campos de abajo a través de un canal debajo del mismo camino, y sigue por los campos hasta llegar al Barranco de Cabrera.

Se sitúa al sur de la cabecera del Barranco de Cabrera. Tiene una cuenca receptora de 55.800 m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 405m.

Se estructura con una acequia situada en el lado izquierdo de la cuenca que recibe el agua de la parte alta del sistema a través de una zanja recolectora en pie de talud. Una serie de bancales lenticulares en una vaguada, en el centro del sistema, desempeñan el papel de defensa de los campos (fig. 3.38).

La acequia principal recibe el agua de los taludes y paredes perpendiculares a ella, y también directamente de los campos a su derecha. La acequia atraviesa el primer camino por un conducto y sigue por su lateral hasta llegar al siguiente camino. Tras unirse con una acequia recolectora de borde de este camino, lo atraviesa y sigue hasta llegar al Barranco de Cabrera. No tiene elementos especiales de defensa, salvo las paredes y los bancales lenticulares.

Portapán 2

Es también un sistema sencillo, como el de Portapán 1. Empieza el sistema desde una ladera en la derecha cubierta con vegetación natural. En un primer momento no aparece ningún rastro de acequia. Sólo a mitad de cuenca aparece una canalización de aguas de escorrentía, que atraviesa dos caminos y alcanza en recto el Barranco de Cabrera.



Figura 3.37: Cabecera del sistema Portapán 2. Se observa la parte de la cuenca del sistema con vegetación natural y la utilización de bancales de curva de nivel.

Fuente: Autor.

Se encuentra este sistema al sur de la cabecera del Barranco de Cabrera. Tiene una cuenca receptora de 93.000m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 293 m.

Se estructura el sistema en dos partes claramente diferenciadas. La mitad superior presenta un conjunto de bancales con paredes adaptadas a una vaguada que concentra el agua en el centro del sistema. A partir de allí, más o menos en el centro de la cuenca, empieza la acequia a formarse y atraviesa un camino por un conducto. En la parte baja de la cuenca, ya en el glacis, la acequia sigue recibiendo el sobrante de las aguas de los campos. Al llegar al siguiente camino se une con una acequia recolectora de su borde, lo atraviesa por un conducto y sigue hasta llegar al Barranco de Cabrera (fig. 3.38).

El único elemento de defensa en este sistema son las paredes, que se adaptan a la topografía de una vaguada de mucha pendiente, tanto en el aspecto curvo, como en su altura, que llega en algunos puntos hasta 2'5 m (fig. 3.37).

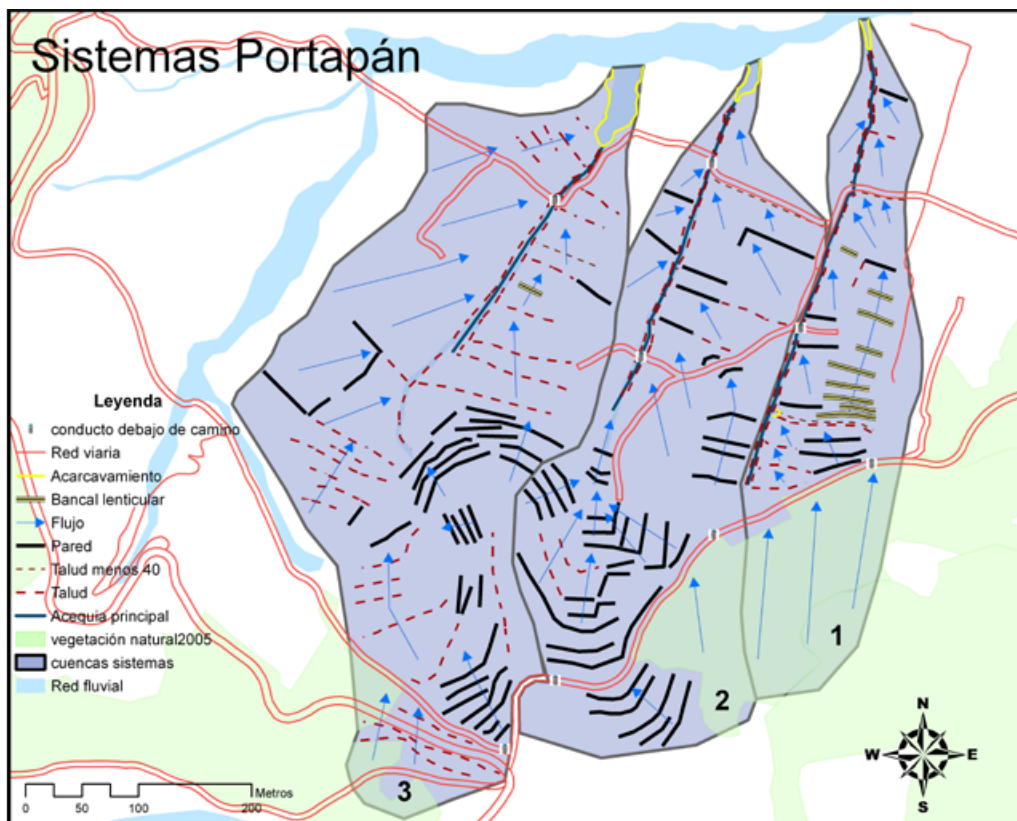


Figura 3.38: Mapa de los sistemas de Portapán.

Fuente: Elaboración propia.

Portapán 3

Es el tercero y el más grande entre los de sistemas de Portapán. En cierto modo es semejante al sistema Portapán 2. Empieza éste desde una ladera cubierta parcialmente con vegetación natural, sigue por una vaguada, todavía sin acequia, y empieza a canalizar las aguas cuando llega al glacis. Esta solución, que también se observa en Portapán 2 y en el sistema Valero, parece indicar que en las zonas de vaguada de cabecera de los sistemas, normalmente con mayores pendientes, no interesa concentrar el agua en acequias, sino dispersarla en los bancales y protegerse de la erosión con paredes o, como aquí, con taludes altos. El problema que podría aparecer con las acequias sería el de la fuerte incisión de éstas, cosa que no ocurre en el glacis.

Se sitúa este sistema al sur de la cabecera del Barranco de Cabrera. Tiene una cuenca receptora de 128.000m². La longitud total de la acequia principal que conduce las aguas hasta el barranco es de 225m.

El sistema se estructura en dos partes diferenciadas. En cabecera aparecen una serie de paredes curvas adaptadas a una ladera de mucha pendiente. Por su parte, la vaguada es defendida con taludes vegetados de mucho desnivel -casi el resto de los bancales en este sistema no están protegidos con paredes- (fig. 3.38).

En la parte baja, el agua de arroyada es recogida por una acequia. En sus primeros 100 m, esta acequia ha sido eliminada por laboreo de los campos, pero luego

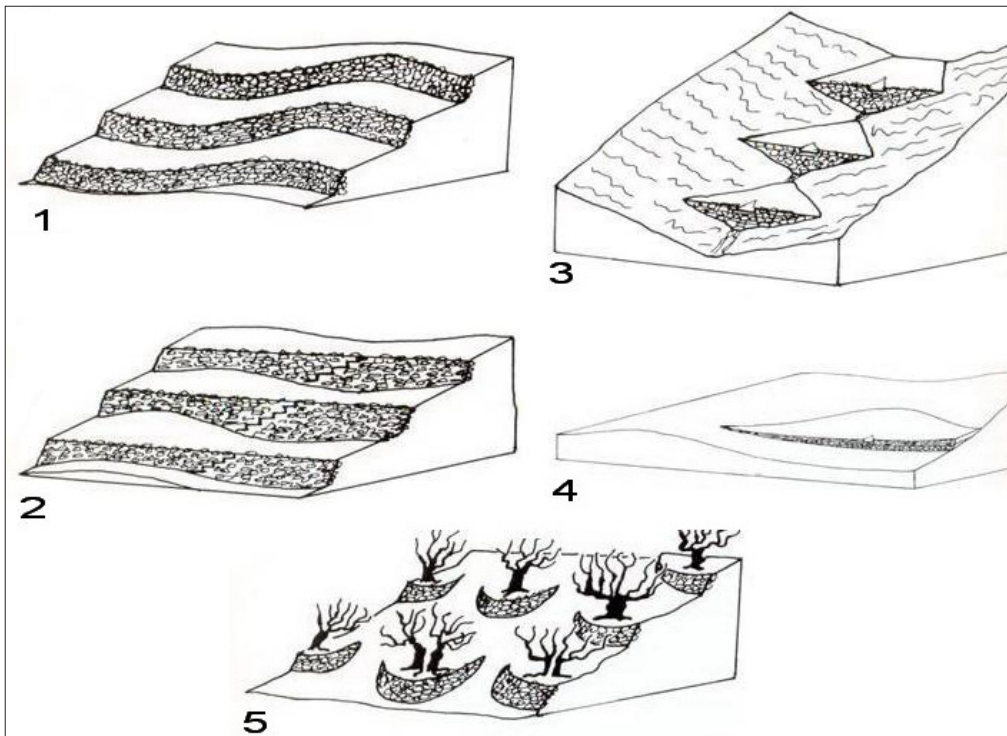


Figura 3.39: Diferentes tipos de bancales: 1-Bancales ondulados; 2-Bancales rectos; 3-Bancales lenticulares en vaguada; 4-Bancal lenticular aislado; 5-Bancales adaptados a árboles.

Fuente: Grove y Rackham (2001).

continúa sin interrupción hasta el Barranco de Cabrera. Una vez formada, sigue hasta un camino y lo atraviesa por un conducto. Luego, sigue en paralelo con él hasta llegar al Barranco de Cabrera, recibiendo el agua sobrante de los campos de los dos lados.

Las paredes curvas adaptadas a la ladera que protegen bancales de pequeña superficie son el elemento básico y único de defensa en este sistema.

3.1.2.3. Los elementos de defensa contra la erosión

En este apartado vamos a resumir los diferentes tipos de elementos concretos que ha creado el hombre en este espacio para evitar que la arroyada generada por lluvias torrenciales llegue a arrancar el suelo de los campos de cultivo.

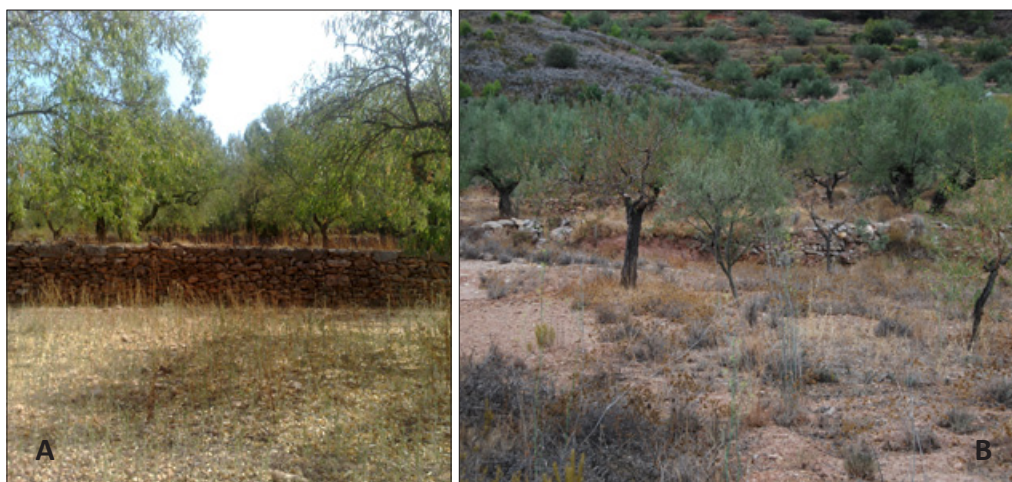


Figura 3.40: A-Bancal recto; B-Bancal lenticular en una de las vaguadas del sistema Tornero.

Fuente: Autor.

A- BANCALES

Son espacios que han sido preparados en áreas de laderas o glacis para transformar la vertiente en superficies horizontales o subhorizontales acumulando la pendiente en taludes, protegidos normalmente con paredes de piedra en seco o con vegetación espontánea. La anchura de estos bancales varía según la pendiente

Aparte de disponer de superficie horizontal, ayudando al labrador a aprovechar el espacio de una manera más apropiada, los bancales desempeñan un papel muy importante a nivel hidráulico, reteniendo mayor humedad, favoreciendo la infiltración y controlando la escorrentía de aguas sobrantes de lluvia.

Se puede distinguir, desde el punto de vista morfológico, entre varios tipos de bancales, en función del ambiente geomorfológico (ver fig. 3.39): 1- Bancales ondulados, paralelos a las curvas de nivel; 2- Bancales rectos, de trazado independiente al de las curvas de nivel; 3- Bancales de fondo de valle, 4- Bancales lenticulares, que se construyen en los puntos de microtopografía cóncava para evitar la erosión por concentración de flujos de escorrentía; 5- Simples protecciones para que se acumule tierra y agua, etc (Grove y Rackham, 2001).

En los bancales rectos, el labrador adapta la altura del borde del bancal, para que le resulte una superficie de parcelación de forma rectangular. En este tipo de abancalamiento, el borde del bancal llega a desaparecer en los puntos más elevados del terreno.

En nuestra cuenca se observa un predominio de bancales rectos en el centro del valle, coincidiendo con el sector donde se desarrollan los glacis (ver fig. 3.40 A). En las laderas periféricas coexisten los bancales rectos y los de curva de nivel, y en los puntos más escarpados, algún pequeño bancal aislado. También pueden observarse ocasionalmente bancales de tipo lenticular, en vaguadas pronunciadas de los glacis (ver fig. 3.40 B).

B- PAREDES/TALUDES

La pared y el talud son los elementos activos de defensa del bancal, el lugar donde se concentra la pendiente y la energía, y por tanto un lugar que se debe proteger con más cuidado. La función de las paredes (ribazos) de los bancales es la de proteger de la erosión la superficie del bancal, de modo que las piedras que lo conforman, apoyadas sobre el terreno, desorganizan la escorrentía superficial, impidiendo la formación de cárcavas en el bancal. Es inexacta la idea de que las paredes de los bancales tienen como una función principal la contención del empuje del terreno del bancal. El clásico ribazo es incapaz de sostener un poco más que su propio peso, con lo cual la defensa que proporciona contra el deslizamiento es muy reducida (Pallarés, 1994).

La estructura, o disposición de las paredes suele ser lineal, recta o curva. Cuando se asocian elementos de defensa, transversales a la máxima pendiente, con otros sin función definida o con función clara de división de propiedad, pueden producirse intersecciones más o menos perpendiculares entre ambos elementos.



Figura 3.41: A-Pared-talud protegido con piedras sólo en su parte superior; B-Esquina de bancal reforzada, en el sistema Viveros.

Fuente: Autor.

En ocasiones podemos ver unos elementos añadidos a las paredes, como son los desagües que se ponen en los puntos donde se concentran flujos de agua en la superficie del bancal. Estos desagües evitan el lavado de las paredes que es el primer paso en el proceso del desmoronamiento. Normalmente se protege la caída con piedras.

A veces, por falta de material de construcción, le basta al labrador con proteger la parte superior del talud con dos o tres filas de piedra, o proteger tramos del talud en sus puntos débiles (ver fig. 3.41 A). En la mayor parte de ocasiones, parece ser que estos refuerzos puntuales del talud se realizan por “ensayo-error”, es decir, se diseña un talud en un primer momento y, si se acarcava, se refuerza con piedras.

En la cuenca del Barranco de Cabrera la mayor parte de defensas están constituidas por paredes de piedra en seco: todas las de la zona de montaña y la mayor parte de las del sector central de glacis. En este último lugar, sin embargo, la falta de material de construcción para las paredes que se da en terrenos del Keuper, hace que coexistan las paredes y los taludes en un mismo bancal. En este caso, su disposición habitual es la de levantar paredes en sentido longitudinal a la pendiente del glacis, y taludes o paredes en los laterales.

Como hay dos direcciones de pendiente, hacia el barranco y hacia el Este –la general del valle-, los puntos de acumulación del agua en los banales son su esquina NE en los banales de la mitad sur y su esquina SE en los banales de la mitad norte. Es frecuente observar en estos puntos críticos, de mayor altura y concentración de agua, que se refuerza con especial cuidado la esquina (ver fig. 3.41 B), de modo que las divisiones frontales del bancal son de piedra y las laterales comienzan con piedra y continúan con talud.

C- ACEQUIAS

Muchas veces al labrador no le basta con un sistema de paredes para proteger los campos de los efectos destructivos del agua de escorrentía superficial. Así, crea un sistema de desviación y evacuación de esta agua a través un conjunto de acequias (Pérez Cueva, 1985).

Vamos a clasificar las acequias según la función que cumplen en los sistemas de manejo del agua de escorrentía. En este sentido se puede distinguir entre dos tipos principales, las acequias que recolectan los excedentes de lluvias y las conducen hasta otras acequias, y las evacuadoras. Estas últimas desempeñan la tarea de evacuar las aguas que reciben hasta el barranco principal. En algunos casos se puede considerar que la acequia evacuadora principal puede cumplir una doble función, recolectora y evacuadora. Es cuando presenta tramos perpendiculares a la pendiente. Con ello, no solo se limita a desaguar la cuenca, sino que también recoge la arroyada de los banales inmediatamente superiores.



Figura 3.42: A-Acequia recolectora, situada al pie de un bancal. Sigue la curva de nivel hasta confluir con la acequia evacuadora del sistema; B-Acequia evacuadora ancha en el sistema de Tornero; C-Acequia de borde de camino. No se trata de una simple cuneta de carretera: obsérvese que está a nivel más alto que los campos.

Fuente: Autor.

C.1- Acequias recolectoras

Estas acequias o zanjas están asociadas normalmente a los pies de las paredes y los taludes (transversales a la pendiente), donde se concentran las aguas de lluvia recibidas por la superficie de los bancales (ver fig. 3.42 A). También la red viaria, en el caso de estar perpendicular a la pendiente del glacis, puede cumplir esta función. Su cometido es recolectar las aguas excesivas de los campos de cultivo que puedan ser peligrosas, y conducir las hacia las acequias evacuadoras, evitando la formación de procesos de erosión laminar o la formación de surcos. Este tipo de acequias es totalmente artificial.

C.2- Acequias evacuadoras

Estas acequias empiezan con una pequeña cuenca incapaz de formar por sí misma un barranco de cierta importancia, pero sí de concentrar aguas que puedan ser peligrosas para los campos de cultivo. Como mínimo, la parte media y baja de la acequia está en el glacis, pero es frecuente que todo el sistema lo esté, sin llegar a tener una conexión con las laderas periféricas. Se nota la intervención humana, tanto por la desviación al lateral de las parcelas, que llega a ser en ángulo recto (en algunos casos llega a trasladar la acequia por completo), como por la protección que tienen sus

paredes en su trayectoria hasta llegar al barranco (ver fig. 3.42 B). En general, la red viaria no afecta a estas acequias, por disponer de unos conductos debajo de la misma que permiten que siga hasta el barranco (ver fig. 3.42 C).

Hemos elegido precisamente esta zona de trabajo por la riqueza y originalidad de estos sistemas de defensa contra la erosión. Si bien es fácil encontrar estos elementos de modo aislado en todo el territorio valenciano, es difícil encontrar una zona en la que sean utilizados de modo tan sistemático (Pérez Cueva, 1985).

D- OTROS ELEMENTOS DE DEFENSA Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

D.1- Rebosaderos

En algunos bancales podemos ver que el ribazo se eleva un poco sobre el nivel de la superficie del bancal, con la finalidad de retener más agua y además acumular los sedimentos que lleva con ella. Así, la parte delantera del bancal va creciendo con el tiempo (fig. 3.43 A). Esta técnica conlleva el peligro de que el agua quede estancada allí, lo que ha obligado al labrador a establecer unos rebosaderos o desagües en la pared, que tienen la caída protegida con una losa o unas piedras. Estos desagües evitan el lavado de las paredes, que es el primer paso en el proceso del desmoronamiento (ver fig. 3.43 B).

D.2- Defensas en el lecho de las acequias

En tramos con bastante pendiente de algunas acequias es necesario levantar un salto para controlar la erosión en la misma acequia. Estos saltos varían de altura según la pendiente. Normalmente están contruidos con paredes de piedra en seco, y pueden tener una forma recta o curva (ver fig. 3.27 A y B). En ocasiones, para que el salto tenga más fuerza y resistencia, se construye de forma escalonada (ver fig. 3.28 A).



Figura 3.43: A-Pared que se sobreeleva sobre la superficie del bancal; B-Pared en la que se han dispuesto desagües.

Fuente: Autor.

En otros tramos con menos pendiente, el lecho de las acequias se protege sin levantar saltos, simplemente acumulando un poco de piedras de forma desordenada. Esta acumulación sirve para retener el flujo de agua y quitarle energía y velocidad, y por consiguiente frenar el encajamiento de la acequia.

D.3- Acumuladores de agua

En las zonas áridas y semiáridas, el tener almacenada el agua sobrante de las lluvias a través de unos sistemas más o menos simples es un rasgo común (ver figs .3.32-B y fig. 3.34-B).

Nos interesa ver estos sistemas tanto como un sistema de aprovechamiento de estas aguas, como desde el punto de vista de manejo y control de las aguas de escorrentía. El papel protector que desempeñan estos sistemas se refleja en restar potencia a la escorrentía y, por consiguiente, bajar la erosión causada por ella.

En **conclusión**, en este caso estudiado de la gestión de las aguas de arroyada en el valle del Barranco de Cabrera (Segorbe), al igual que en Monteagudo del Castillo, también se observa un frágil equilibrio entre el aprovechamiento del agua de arroyada y la gestión de la lucha contra la erosión. La alta impermeabilidad de los materiales del Keuper sobre los que se extienden los cultivos de la cuenca, y la fuerte torrencialidad de las lluvias, condicionan la formación de arroyada concentrada, que no puede absorber el suelo. Durante los episodios de lluvias torrenciales, reestablecida la conectividad hídrica del sistema que rompen los bancales, es necesario articular refuerzos en las paredes de los bancales y en los elementos de drenaje que resistan la erosión. Estas soluciones no se interpretan en función de ningún rasgo cultural, sino que son soluciones *ad hoc* para resolver el problema.

3.2. MESKAT DEL VALLE DE HAMMAM (SOUSSE)

Este es el tercer ejemplo que hemos considerado de la compleja gestión del agua como riesgo/recurso en laderas y glacis, en este caso de la *baja estepa tunecina* (en términos del Henia y Omrane, 2008, p.14).

En la secuencia de casos estudiados sería el sector más árido, francamente estepario, a diferencia de las condiciones casi subhúmedas de Monteagudo del Castillo y las de transición entre condiciones ombrotérmicas subáridas/subhúmedas de Segorbe.

El contexto topográfico y la forma de abordar el estudio son similares, porque se trata de gestionar el agua en laderas y glacis de pequeñas cuencas. Pero en este caso, la zona de estudio es significativamente mayor (unos 220 km²). Esto es debido a que, aparte de la comparación a escala cuenca o sector de gestión, se ha querido además valorar el uso de la técnica del *meskat* y sus transformaciones actuales en una porción significativa de los alrededores de Sousse. En otras palabras, los grandes sistemas particulares de *meskat* pueden tener tamaños similares o incluso inferiores a las cuencas de los Bcos. de Cabrera o San Cristóbal, pero el sector estudiado aquí, la

cuenca del Oued el Hammam, 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, p. 384).

3.2.1. Características del *meskat*

El *meskat* es un sistema tradicional de gestión del agua de lluvia en sectores semiáridos de Túnez (Amami, 1983, Ennabli, 1993, Fleskens *et al.*, 2005...) para el cultivo de olivos en seco. 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, p.619). El sistema persigue incrementar la cantidad de agua que reciben las parcelas cultivadas mediante la separación entre una zona superior de *impluvium*, no cultivada, y otra inferior donde se aprovecha el agua (*compluvium*). La primera genera agua de arroyada bajo condiciones de lluvias de cierta intensidad.

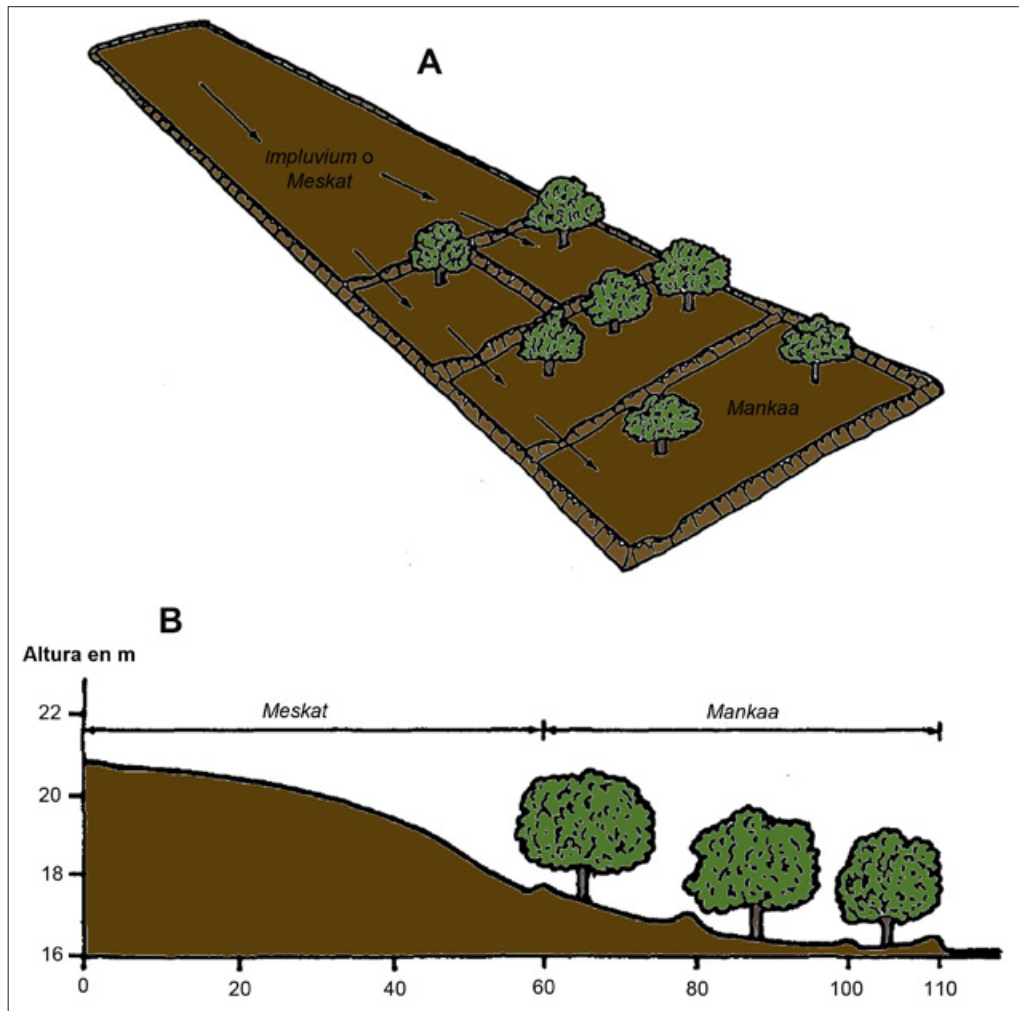


Figura 3.44: Planta (A) y perfil (B) de los principales elementos del sistema *meskat*: el *meskat* en sentido estricto o *hamada* (sector de *impluvium*) y el *mankaa* (sector de cultivo).

Fuente: Reij, Mulder y Begermann (1988 p.43).

Esta arroyada es dirigida hacia la zona del olivar, y repartida en cascada. El área de *impluvium* es inseparable de la plantación: *meskat* y *mankaa* pertenecen al mismo título de propiedad (Despois, 1955). 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 *water harvesting* (Despois, 1955; Côte, 1964; El Amami, 1977 y 1984; El Amami y Chaabouni, 1981; Reij, Mulder y Begeman, 1988; Stenlund, 1991; Ennabli, 1993; Renner y Frasier, 1995; Prinz, 1996, 1999 y 2011; Berndtsson, 1999 ; Oweis, Prinz y Hachum, 2001; Prinz y Malik, 2002; Oweis y Hachum, 2003 y 2009; Abdo y Eldaw, 2004; Mongil, 2004 y 2008; Oweis, Hachum y Bruggeman, 2004; Rutherford, 2005; Omrani y Ouessar , 2008; Ouessar *et al.*, 2012; Mekdaschi y Liniger, 2013; Sahtout *et al.*, 2015; Jebari, Berndtsson y Bahri, 2015; Berndtsson, Jebari, Hashemi y Wessels, 2016; Fourati *et al.*, 2016; Yazar y Ali, 2016).

3.2.1.1. Principios, objetivos y función

El sistema hidrológico tradicional denominado *meskat* es un modelo de manejo cuyo objetivo es aumentar la cantidad de agua que reciben los cultivos o los árboles mediante el uso de impluvios que capturan aguas meteóricas (Reij, 1991, p.5).

El principio de funcionamiento del sistema *meskat* consiste en la explotación de la zona de colinas para capturar el agua de lluvia que será transportada y posteriormente dirigida a través de canales (Ben Salem *et al.*, 2013, p.397). Estas pequeñas cubetas de captación, llamadas *meskat*, se utilizan para regar árboles frutales. Las cubetas, normalmente cuadradas o rectangulares, inhiben la escorrentía, pero poseen un aliviadero para permitir que el exceso de agua fluya hacia abajo a la siguiente serie de árboles o plantas (Renner y Frasier, 1995, p.73) (fig. 3.44).

Los sistemas de *meskat*, hacen posible el desarrollo de un terreno previamente incultivable mediante la plantación de olivos (El Amami, 1984). La actividad olivarera se ha desarrollado mucho gracias a esta técnica, especialmente en el norte de Sousse, en las delegaciones de Akouda y Hammam Sousse, donde el olivo se extendió por más de 3.280 hectáreas, más del 80% de la tierra cultivables. Sólo Akouda tiene más de 3.000 hectáreas de olivos, más del 90% de la tierra cultivable de toda la delegación (Sahtout *et al.*, 2015, p.328).

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, p.397 y Fourati *et al.*, 2016b, p.617).

3.2.1.2. Contexto histórico, geográfico y ambiental

El sistema hidrológico *meskat* se considera una técnica antigua en Túnez, que tuvo una gran extensión desde la época romana (Ben Salem *et al.*, 2013, p.397). Hasta 1984, la técnica del *meskat* cubría 300.000 ha, en las que se plantaron 100.000 olivos (Tobbi, 1994). Según Abdo y Eldaw (2004, p.88) el sistema es uno de los métodos más



Figura 3.45: Aliviadero (*manfas*) en un sistema de *meskat* en Oued el Hammam.

Fuente: Autor.

antiguos empleados en *water harvesting*, 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 Sousse es un área de contacto entre la región de Tell en el norte, con un fuerte carácter mediterráneo, y la región sahariana en el sur (Sahtout *et al.*, 2015, p.323).

Dentro de esta franja esteparia, ocupa principalmente el sector norte, el menos seco. En el Atlas del Agua de Túnez (Henia, 2008), se considera que este sector pertenece al clima de transición (al clima mediterráneo) con tendencia semiárida (Henia y Omrane, 2008, p. 48), con lluvias totales anuales entre 300 y 400 mm (El Melki, 2008, p.16) y temperaturas medias anuales (El Melki y Charabi, 2008, p. 32). El Amri *et al.* (2016, p.3) destacan que el clima de la zona es mediterráneo semiárido, con estaciones lluviosas en invierno y otoño, que acumulan el 70% de la lluvia anual total. El diagrama ombrotérmico de Sousse (ver fig. 3.50), por ejemplo, permite definir un tipo de clima semiárido con tendencia mediterránea y con influjo marítimo. El largo período de meses secos y los períodos de otoño e invierno relativamente húmedos son el signo de un régimen mediterráneo de temperatura y lluvia influenciado por el mar (Sahtout *et al.*, 2015, p.324).

La topografía es suave, formada principalmente por colinas bajas, así como mesetas y llanuras costeras (Mehdouani, 2003).

3.2.1.3. Elementos y estructura del Meskat

El *meskat* se estructura sistemáticamente en dos grandes sectores, el *impluvium* y la zona de aprovechamiento. Cada uno de ellos tiene una serie de elementos que cumplen una función específica para conseguir el objetivo esencial del sistema que, como se ha señalado, es el de incrementar el agua útil de los cultivos.

El *impluvium* es la zona de captación y concentración de la escorrentía difusa, a veces dispuesta de zanjas oblicuas a la pendiente para canalizar las aguas y llevarlas a la zona de cultivos

El *compluvium* es la zona de aprovechamiento de las aguas concentradas y conducidas desde el impluvium. Es un espacio llamado *mankaa*, dividido mediante taludes de tierra sobrelevada, o *tauabi* (plural de *tabia*), en compartimentos cuadrados, denominadas 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 3.46: 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.

Fuente: Autor.

Tabla 3.2: Distribución del sistema *meskat* en la región de Sousse.

Delegación	Area (ha)	%
Bou Fichta	0	0
Kalaa Kebira	13.246	30'3
Kalaa Sghira	1.133	2'6
Enfidha	0	0'0
Sidi Bou Ali	1.512	3'5
Kondar	0	0
Sidi El Hani	0	0
M'Saken	26.520	60'6
Akouda	1.181	2'7
Hammam Sousse	101	0'2
Hergla	0	0'0
Sousse Riadh	68	0'1
Total	43.761	100

Fuente: Centro Nacional de Estudios Agrícolas, 2008.

Mongil (2008, p.12) destaca en particular los conceptos de *meskat* y *mankaa*, y los compara a las “gavias” de Canarias: En ambos casos se trata de estructuras que producen o interceptan la escorrentía superficial, y la conducen a un área de recepción, donde se retiene el agua y se facilita su infiltración.

Ben Salem *et al.* (2013, p.337) señalan que los componentes del sistema *Meskat*, desde aguas arriba hasta aguas abajo son:

- (i) el área de captación, *meskat* (en sentido estricto) o *h'mada*. Representa el área montañosa que, a menudo no cultivada, caracterizada por el predominio de costras de piedra caliza, y con desarrollo de plantas espontáneas (artemisia, romero, esparto, etc.), tiene estructuras antiguas como «*fesguias*» (balsas) o «*majels*» (aljibes) para conservar la escorrentía superficial,
- (ii) el surco diseñado para conducir agua de arriba a abajo,
- (iii) los despachadores, que son los terraplenes construidos en paralelo entre la zona de captación y las plantaciones,
- (iv) el *mankaa*, o conjunto de compartimentos que representa la parte aguas abajo del sistema *meskat* (están plantados con olivo y otros cultivos),
- (v) las *tabias* que son montículos de suelo y de poca altura que delimitan el *mankaa*, y
- (vi) el *manfas* o el *majref*, que se encuentran en el extremo de la *tabia*, y permiten el flujo de agua entre los compartimentos (fig. 3.44).

3.2.1.4. Distribución espacial

En la región de Sousse, el manejo de las cuencas hidrográficas por el sistema *meskat* se realizó en aproximadamente 44.000 ha, es decir, el 40'5% del área (108.500 ha) (Ben Salem *et al.*, 2013, p.398) (ver tabla 3.2).

Según estos datos, la principal extensión del *meskat* se localiza en dos grandes delegaciones, M'Saken y Kalaa Kebira. La primera de ellas está situada a caballo entre las cuencas del Oued Hamdoun y el Oued El Hammam, principalmente en la de Hamdoun. La delegación de Kalaa Kebira se sitúa en la cuenca de El Hammam y al norte de ella. Una característica común de los territorios de estas delegaciones es que son grandes y están en las partes bajas y medias de las cuencas, las que presentan mayor densidad de olivar de *meskat*. Frente a ellos, las delegaciones del norte (Bou Fichta, Enfidha, Hergla...) o muy interiores (Kondar, Sidi El Hani...) no registran presencia de *meskat*, así como tampoco los periurbanos del área metropolitana de Sousse (Hammam Sousse, Sousse Riadh...), en los que prácticamente ha desaparecido. En una posición intermedia están las delegaciones de pequeña extensión, como Akouda o Kalaa Sghira.

3.2.1.5. Evolución reciente

Como se deduce de lo expuesto hasta el momento, podemos decir que el paisaje actual del *meskat* es el resultado de un trabajo antiguo y también actual de los campesinos. Pero, según señalan Ben Salem *et al.* (2013, p.398) este patrimonio está, en algunos casos, mal conservado. Cabe señalar que si, en el pasado, el olivar se fue a la conquista de las partes más bajas de las colinas para aprovechar la escorrentía, en el presente, la población urbana está buscando un paisaje natural, y está ocupando las colinas (*impluviums*) para disfrutar de agradables vistas sobre el paisaje agrícola circundante. 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. Abdo y Eldaw (2004, p.88) también señalan que el estado del *meskat* se ha deteriorado debido al desarrollo agrícola intensivo que tuvo lugar desde mediados de siglo.

En la zona de estudio Fourati *et al.* (2016b, p.6) señalan que las zonas urbanas muestran una expansión entre 1994 y 2015 en beneficio 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.

Los caminos de acceso cruzan cursos de agua, cuencas y contenedores, causando una interrupción en el funcionamiento del sistema *meskat*, e incluso su desaparición. Esto cambia el equilibrio entre captación y uso, aumenta las superficies impermeables y empeora el riesgo de inundación (Majdoub *et al.*, 2015, p.226).

El mayor cambio que afectó al sistema *meskat* en la cuenca de Oued Laya El Hammam, es el desarrollo de olivos y árboles frutales en el *impluvium*: El cambio reciente del uso del suelo muestra la extensión de la arboricultura a favor de los impluvios.

Tabla 3.3: Porcentaje y km² de presencia de la cuenca del Oued el Hammam en 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

Fuente: Elaboración propia.

Esta práctica se ha acelerado desde la década de 1960, lo que ha llevado a la desaparición de muchos impluvios (Houimli, 2008), lo que ha amplificado las manifestaciones de inestabilidad del medio y la reducción de la eficiencia del sistema. En la actualidad, alrededor del 40% de los impluvios se plantan (Fourati *et al.*, 2016b, p.7).

3.2.2. Características de la zona 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, en la homónima gobernación (Túnez). Se emplaza en 9 de las 17 delegaciones que conforman la gobernación de Sousse, principalmente en Kalaa Sghira, Kalaa Kebira y M'Saken (ver tabla 3.3). Este cauce está formado por dos grandes tributarios: el Oued Laya y Oued el Kibir, que confluyen al sur de la población de Akouda.

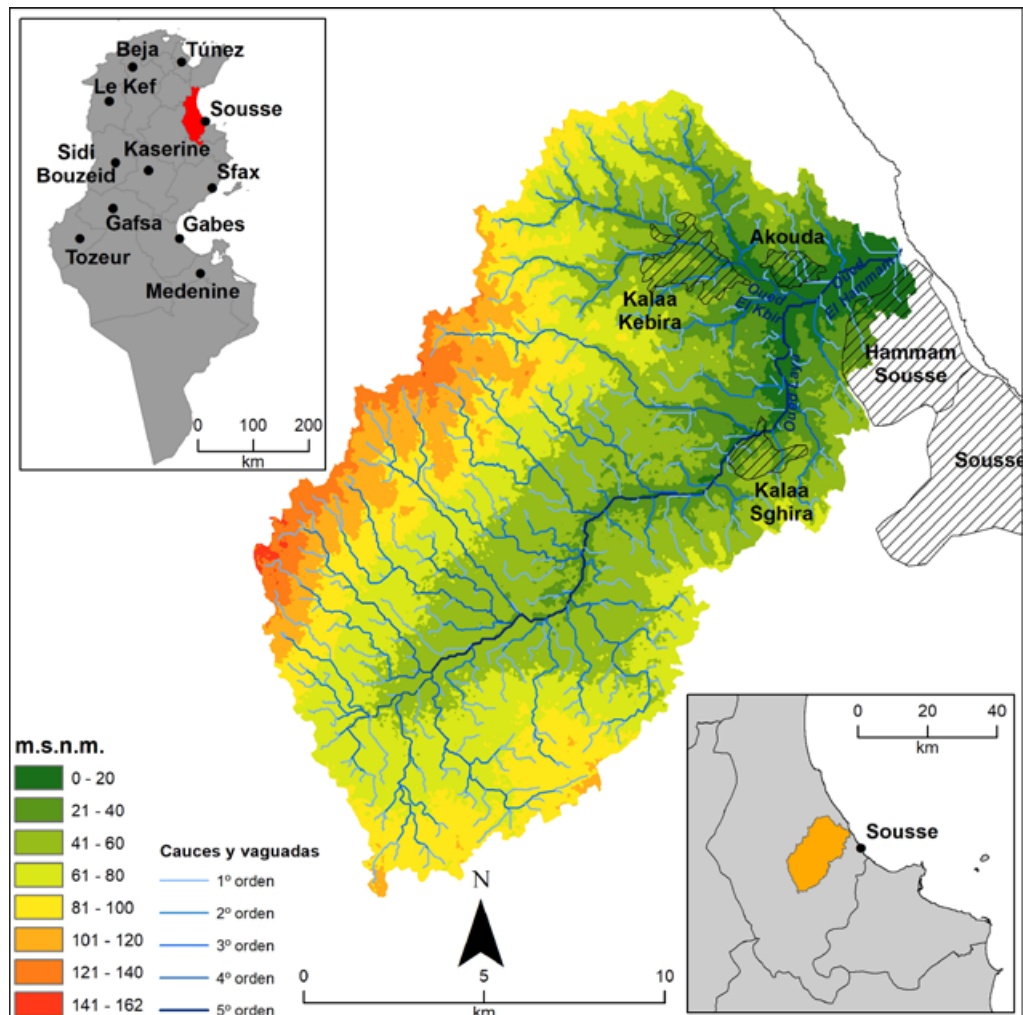


Figura 3.47: Localización de la cuenca de Oued el Hammam.

Fuente: Elaboración propia.

A- 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 (fig. 1.12). 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 hundén la costa mediterránea, configuran su perfil ovalado y propician la formación de un relieve de llanuras y colinas de materiales recientes.

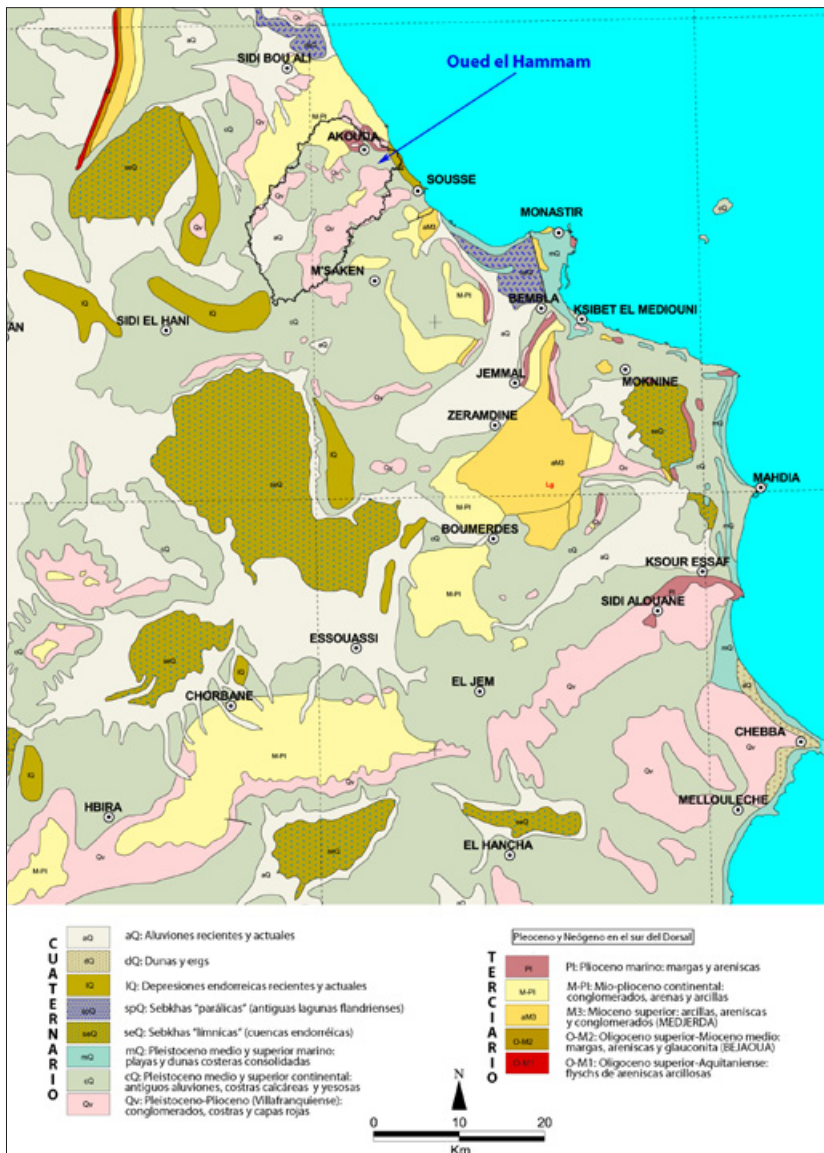


Figura 3.48: Geología de la región de Sousse y alrededores.

Fuente: Elaboración propia, a partir del mapa geológico de Túnez 1:500.000. Ben Haji, et al. (1985).

Al hundirse en menor medida, logra conservar afloramientos de los materiales más antiguos, que aun así se retrotraen solo al Mioceno.

La zona estudiada se sitúa en el prelitoral y litoral de la zona sur del óvalo de Hammamet, por tanto, en un sector de gran hundimiento postorogénico. En este sector, los materiales que afloran son todavía más recientes, y se reducen al mioplioceno y cuaternario. La secuencia cronológica y paleoambiental de los principales (fig. 3.48) está formada por:

- Materiales del Oligoceno superior a Mioceno medio (O-M1, O-M2) formados por margas, areniscas, areniscas arcillosas, en facies marina... Están deformados y dan lugar a un relieve monoclinal de gran longitud (Amari, 1986). No aparecen en la cuenca, pero si en la cercanía, al W de Kondar y de la shebka de Kalbia. Es el relieve en el que se apoya la *centuriatio* de Kondar (Ben Haj Farhat y Rejeb, 2012, p.58).
- Materiales de Mioceno superior (aM3), formados por arcillas, areniscas y conglomerados (Fm. Mdjerda, en facies continental). Son los materiales más antiguos mejor representados, pues afloran extensamente en el núcleo de la plataforma pelágica, entre Zeramdine y Boumerdes, y puntualmente en algún otro lugar, como en al S de Sousse.
- Materiales miopliocenos (M-Pl) en facies continental, formados por conglomerados, arenas y arcillas. Son los materiales más antiguos que afloran dentro de la cuenca estudiada, constituyendo el eje de su divisoria NW. Dan lugar a un relieve de colinas muy suaves, con vaguadas de fondo plano.
- Materiales del Plioceno marino (Pl). Afloran solo en el sector más próximo al litoral y están constituidos por margas y areniscas. Se distribuyen en varios lugares del litoral entre Sousse y Sfax, y llegan a aflorar en la cuenca de estudio al N y NE de Akouda. Su relativa dureza da lugar a colinas que destacan hasta unos 50 m por encima de las vaguadas de alrededor. Estas colinas condicionan el cierre NE de la cuenca de estudio.
- Materiales del Villafranquiense (Qv), en la transición entre el Plioceno y el Cuaternario, constituidos por conglomerados, costras calcáreas y estratos rojos arcillosos. Es uno de los pisos mejor representados en la zona, incluida la cuenca de estudio. La dureza de las costras calcáreas no es excesiva, pero contribuye a que estos materiales constituyan los elementos más elevados. Se suman a los del Plioceno continental para dar lugar a las divisorias topográficas de la cuenca.
- Materiales del Pleistoceno medio y superior (cQ, en facies continental, y mQ, en facies marina). Los depósitos marinos son playas y dunas encostradas de transgresiones marinas cuaternarias, que solo afloran en las inmediaciones del litoral (vgr. en el promontorio de Monastir) Los depósitos continentales, formados por aluviones y costras, están presentes en toda el área y son los dominantes en la zona de estudio.

La dureza de las costras también les permite estar, en ocasiones en posición elevada, pero no tanto como las colinas de las costras villafranquienses.

- Materiales del Pleistoceno superior y Holoceno. Son depósitos de ambientes diversos, en los que predominan las *sebkhas* limnicas actuales (seQ), alguna *sebkha* flandriense (spQ), alguna depresión actual no endorreica (IQ) y sedimentos arenosos de *erg*. El otro gran componente es el de los depósitos fluviales recientes y actuales (aQ), el único que aflora en la cuenca de estudio. Ocupan el fondo de los valles y partes bajas de los glacis.

Un elemento actual del relieve es el encajamiento reciente de la red fluvial, que da lugar a cárcavas en fondos de valle y en vaguadas de glacis, es decir, en los elementos topográficos bajos que concentran escorrentía. Las cárcavas afectan sobre todo a los materiales cuaternarios más recientes (no tanto a los pliocenos y villafranquienses). Esto es debido en buena medida a su menor dureza, y a la ausencia de encostramientos que protejan de la erosión. Pero también a que los materiales más antiguos afloran en sectores más elevados y en divisorias, donde se genera la arroyada, mientras que los materiales cuaternarios más recientes lo hacen precisamente en las partes más bajas.

El *meskat* ha coexistido siempre en un equilibrio frágil con este tipo de erosión. En la actualidad este equilibrio es todavía más frágil, debido al parcial abandono de

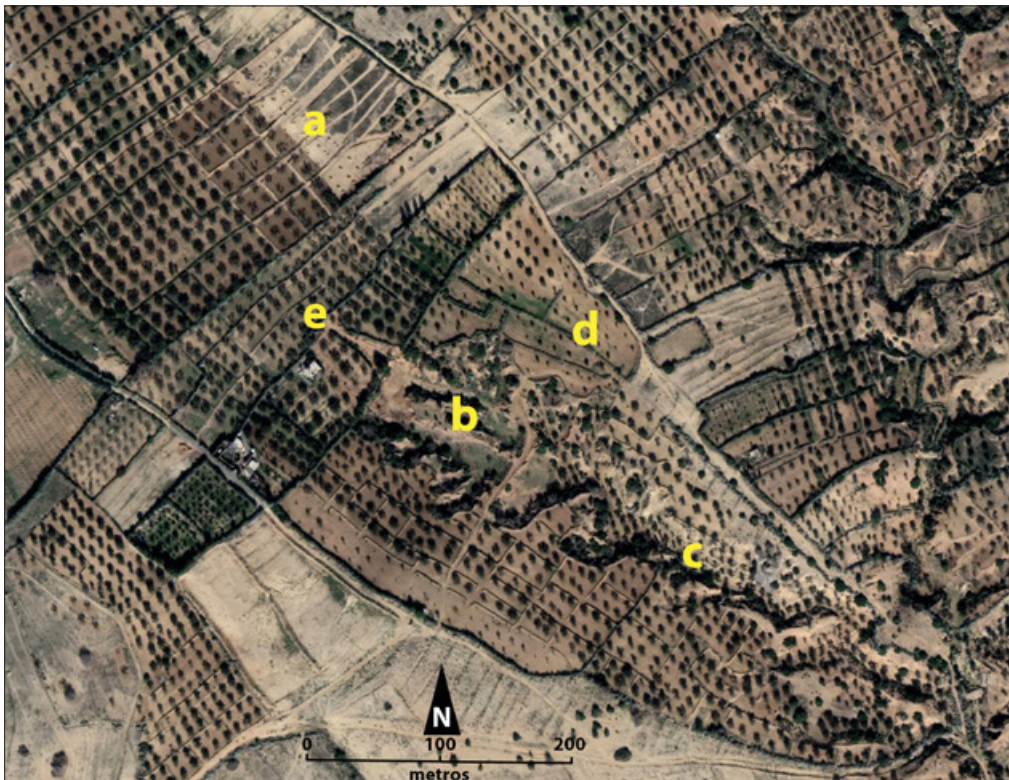


Figura 3.49: Progreso por erosión remontante de la cabecera de una cárcava en un valle de fondo plano ocupado por *meskat*, en la cuenca del Oued el Ghars. Se observa: **a-** Sistema *meskat* de eriales con acequias; **b-** Cárcava de erosión remontante; **c-** Olivos de *meskat* en un sector degradado por erosión; **d-** Erial transformado al no ser ya útil; **e-** Estructuras parcelarias de *meskat* cortadas por la cárcava.

Fuente: Elaboración propia.

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 (ver fig. 3.49).

B- CLIMATOLOGÍA

En el apartado 3.2.1.2 señalábamos que el sector de Sousse ocupa principalmente el sector norte, el menos seco, de la franja esteparia tunecina. Es un sector de transición al clima mediterráneo, con lluvias totales anuales entre 300 y 400 mm (El Melki, 2008, p16). El diagrama ombrotérmico de Sousse (fig. 3.50) muestra el típico rasgo mediterráneo de periodo seco estival (seis meses áridos, de abril a septiembre) y también que las lluvias otoñales e invernales son las más abundantes, acumulando el 70% de la lluvia anual total (Amri *et al.*, 2016, p.3). Septiembre, a pesar de ser ligeramente árido por sus todavía elevadas temperaturas, es el primer mes del periodo húmedo (septiembre-diciembre) y el cuarto en orden de importancia. Noviembre es el mes más lluvioso, un poco por encima de octubre. A partir de enero se inicia un declive regular, sin altibajos, hasta el mínimo de julio.

Este rasgo de lluvias otoñales más abundantes que las de primavera es característico de las costas N del Mediterráneo occidental. Allí se explica por la mayor pluviometría de las “gotas frías” otoñales, menos numerosas que las primaverales, pero mucho más eficientes (Armengot, 2002) En el caso de la costa E de Túnez, se produce el mismo fenómeno: el impacto pluviométrico de los grandes temporales de “gota fría” otoñales es capaz de generar regímenes estacionales OIPV, en lugar de otros en los que las lluvias invernales y primaverales son más abundantes, que es el propio del Mediterráneo central y oriental. Como señalan Sahtout *et al.* (2015, p.324) es un tipo de clima semiárido con tendencia mediterránea y con influjo marítimo. 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.

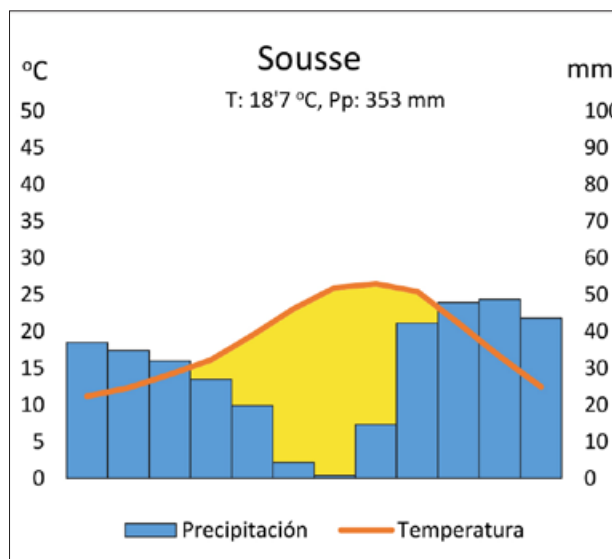


Figura 3.50: Diagrama de Gausson para la estación forestal de Sousse.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Sahtout *et al.* (2015).

3.2.3. Metodología específica

Para cuantificar el grado de presencia del *meskat* en la zona de estudio elegida se ha seguido una metodología específica de reconstrucción de la red fluvial a partir de un modelo digital del terreno y de muestreo aleatorio de tipos de usos del suelo.

La metodología para llevar a cabo este estudio del sistema *meskat* es fundamentalmente cuantitativa y cartográfica, con las siguientes tareas y pasos:

A- Reconstrucción de la red hidrográfica y delimitación de la cuenca de Oued el Hammam. Para ello se ha utilizado un modelo digital de terreno de una resolución de 30m*30 m obtenido de Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA). El Modelo de Elevación Digital Global ASTER (ASTGTM) fue desarrollado conjuntamente por la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón. Los pasos seguidos han sido:

1. Rellenar las celdas ciegas (endorreicas) o corregir las imperfecciones en el modelo digital de elevaciones (*Fill Sinks*), de manera que dichas celdas imperfectas tengan una altura igual a la mínima altura de las ocho celdas que la rodean, lo que permite determinar la dirección del flujo de forma correcta.
2. Definir la dirección del flujo (*Flow direction*), buscando el camino descendente de una celda a otra.
3. Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda (*Flow accumulation*). Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella.
4. Clasificar las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral como celdas pertenecientes a la red hidrográfica (*Stream definition*), es decir, considerar como red hidrográfica todas las celdas que reciben las aguas a partir de un mínimo de superficie de captación. En este caso se ha establecido como umbral 200 celdas, es decir 18.000 m² de captación para empezar a considerar la celda como canal.
5. Segmentar el cauce resultante en el paso anterior en parte (*Stream Link*), en los puntos de nacimiento o confluencia.
6. Crea un raster del orden de los segmentos (*Stream Order*) del paso anterior según el método Strahler.
7. Crea una capa vectorial “*shapefile*” de drenajes (*Stream Feature*) para facilitar los cálculos y las tareas de representación cartográfica.

B- Análisis del grado de presencia, distribución y tipologías del *meskat* a partir de un muestreo aleatorio de 500 puntos en la cuenca de Oued el Hammam para determinar los usos del suelo de la cuenca a partir de fotointerpretación. El criterio que se ha utilizado para decidir la cantidad de puntos de muestreo ha sido el de ir incrementando la cantidad de muestreo de 100 en 100 puntos e ir viendo la evolución

de los porcentajes hasta que estos han tendido a estabilizarse (ver fig. 3.51).

Uno de los objetivos de este análisis es cuantificar de modo aproximado la extensión del *meskat* en la cuenca, diferenciando entre las partes cultivadas (olivo) y las que proporcionan agua a los cultivos (el *impluvium*), así como su grado de presencia en la cuenca de El Hammam frente a otros usos del suelo. Para ello se han seguido los siguientes pasos:

1. Clasificación de los puntos fotointerpretados en los siguientes usos: 1) erial de *meskat* con acequias (EMA), 2) erial de *meskat* sin acequias (EMS), 3) erial de *meskat* transformado (ETR), 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) (ver Tabla 3.4).
2. Verificación parcial mediante trabajo de campo de una selección aleatoria de puntos, a efectos de comprobar si la fotointerpretación se había realizado correctamente.
3. Selección aleatoria para un tratamiento cartográfico detallado del 10% del total de los puntos perteneciente al sistema *meskat* (tanto de la zona de recolección de agua como de la zona cultivada) (fig. 3.52).

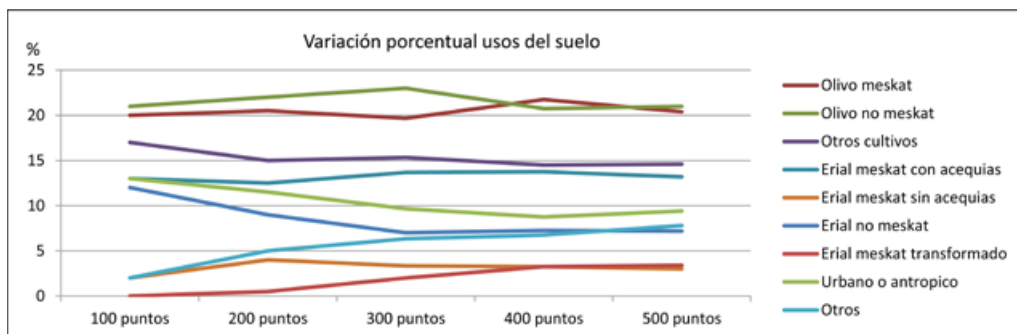


Figura 3.51: Variación de los porcentajes de uso de suelo en la cuenca del Oued el Hammam incrementando los puntos de muestreo de 100 en 100 (la primera columna representa 100 puntos de muestreo, la segunda 200 puntos, etc.): cada columna incluye el uso del suelo de los puntos anteriores y añade 100 puntos más.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Presencia del *meskat* y otros usos del suelo en la cuenca del Oued el Hammam, a partir de un muestreo aleatorio de 500 puntos.

Tipo de uso	Usos	Puntos	Porcentaje
Olivo meskat	OM	102	20'4
Olivo no meskat	ONM	105	21
Erial meskat con acequias	EMA	66	13'2
Erial meskat sin acequias	EMS	15	3
Erial meskat transformado	EMT	17	3'4
Erial no meskat	ENM	36	7'2
Urbano	U	47	9'4
Otros	O	39	7'8
Otros cultivos	OC	73	14'6
Total		500	100%

Fuente: Elaboración propia.

C- Análisis de las características topográficas del meskat. Para ello se han asignado a los usos del suelo de los sectores cartografiados los valores de altitud y pendiente para el tratamiento cuantitativo posterior. También se han asignado valores de altitud y pendiente a los 200 puntos (40% de 500) caracterizados como *meskat* (EMA, EMS, ETR y OM).

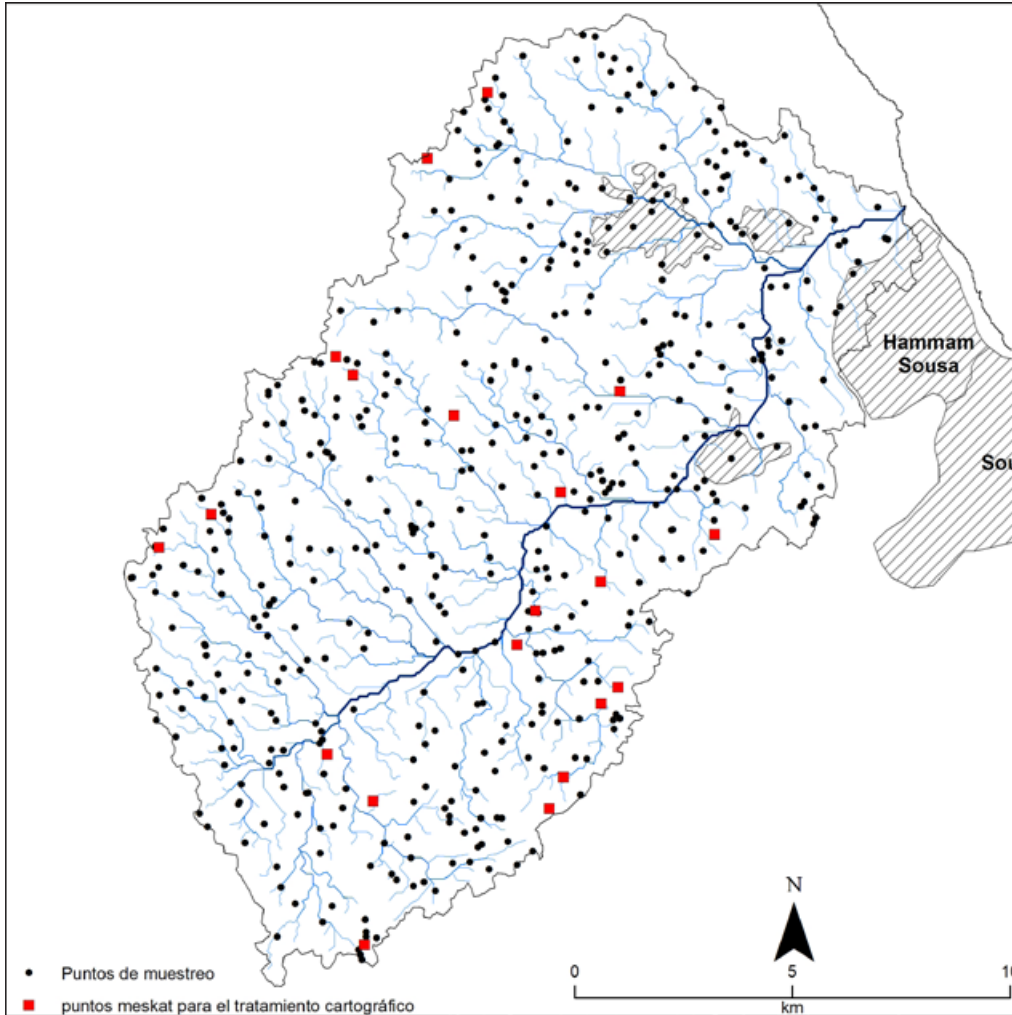


Figura 3.52: Ubicación espacial de los 20 puntos seleccionados para tratamiento cartográfico de sectores con sistemas de *meskat* en la cuenca del Oued el Hammam.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5: Porcentaje de usos de suelo agrícolas en la cuenca del Oued el Hammam.

Tipo de uso	Asociaciones de usos	Puntos	Porcentaje
Meskat	OM+EMA+EMS+EMT	200	0'4
otros cultivos	OC+ONM	178	0'356
No cultivado	ENM+U+O	122	0'244
Total		500	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6: Resultados de la cartografía detallada de los sectores seleccionados de *meskat* en la cuenca del Oued el Hammam en cuanto a extensión, topografía, y ratios *impluvium/cultivo*.

Nombre	Sector	Sup. total (m ²)	Erial (m ²)	Olivo <i>meskat</i> (m ²)	Otros usos (m ²)	Altura media Olivo <i>meskat</i> (m)	Altura media Erial (m)	Desnivel medio sistema (m)	Altitud min. Olivo <i>meskat</i> (m)	Altitud max. Erial (m)	Desnivel max. (m)	Pendiente media Olivo <i>meskat</i> (%)	Pendiente media Erial (%)	% Sup. sistema sobre total	Ratio <i>impluvium/Compluvium</i>	% Erial transf./total erial
An-nagr	G	438653	302220	136433	0	45,4	49,1	3,6	37	58	21	4,5	5,1	100	2,22	0
An-nawwalat	Mixto	1289106	799572	467895	21639	74,6	81,9	7,3	60	104	44	5,1	5,5	98,3	1,71	2,2
As-sabbaghin-Norte	Vc	1601865	797078	709093	95694	39,8	47,3	7,5	24	65	41	7,3	6,4	94	1,12	18,9
As-sabbaghin-Sur	V	300058	151618	128948	19492	38,2	41,7	3,4	31	50	19	6,0	6,6	93,5	1,18	23,7
Cabezera Oued al-Bashir	V	114462	53029	61433	0	87,2	91,3	4,1	80	98	18	5,7	6,4	100	0,86	7,6
Cabezera Oued Bou Tram	Vc	315625	129059	136623	49943	80,9	88,1	7,2	65	98	33	8,2	6,3	84,2	0,94	5,4
Hanshir As-snab	V	533741	248521	236538	48681	125,4	125,6	0,2	108	142	34	5,9	5,9	90,9	1,05	2,7
Hanshir As-snab Oued al-Ghars	Vc	640000	276056	244051	119894	72,9	76,9	4,0	63	99	36	6,4	6,0	81,3	1,13	12
Hanshir At-tawila-1	Mixto	270099	131699	98564	39836	131,4	135,6	4,2	115	147	32	4,7	5,5	85,3	1,34	62,2
Hanshir At-tawila-2	Gv	674789	174526	500262	0	123,3	124,7	1,3	106	135	29	4,8	4,6	100	0,35	2,8
Hanshir Bashir	G	133304	59173	74131	0	94,5	97,1	2,6	78	101	23	6,4	5,6	100	0,80	0
Hanshir Ghánib	G	2897534	1521909	1332620	43006	61,6	64,5	2,8	46	81	35	4,9	4,9	98,5	1,14	7,4
Hanshir Oued Laia	Gv	2339348	1118041	1163721	57587	48,4	52,0	3,6	34	63	29	6,5	5,9	97,5	0,96	9,8
Sabbalel Dorgham	G	763334	462651	288170	12513	68,0	66,8	-1,2	54	82	28	5,7	6,4	98,4	1,61	13,2
Shabit al-Tlalma	V	1351504	634670	530407	186427	50,4	55,2	4,8	31	73	42	4,9	5,6	86,2	1,20	16,9
Shabit Oued al-Battoum	V	937951	502258	413994	21699	43,2	48,4	5,2	26	68	42	6,0	6,6	97,7	1,21	5,3
Total		14601373	7362080	6522882	716410										1,13	10,3

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Resultados

Estos se referirán principalmente a la distribución, grado de presencia, tipologías y características topográficas del *meskat* en la cuenca del Oued el Hammam, aparte de otras consideraciones, a partir del muestreo aleatorio de 500 puntos y 20 sectores de sistemas. La finalidad del muestreo aleatorio de 500 puntos no es estadística, sino tener una descripción aproximada de los principales usos existentes en la zona de estudio. Sin embargo, para poder contar con datos exactos sobre los sistemas *meskat* en la cuenca, se ha seleccionado el 10% de los puntos que han coincidido con alguno de los usos de *meskat* para un tratamiento cartográfico detallado, lo que permite calcular las superficies correspondientes a cada uno de los usos y entender mejor el funcionamiento y las características topográficas de estos sistemas.

Lo primero destacable es la gran presencia del olivar como paisaje agrícola, pues más del 40% de la superficie de la cuenca pertenece a dicho cultivo. Sin embargo, si le sumamos a esa superficie las zonas de captación vinculadas al olivo de *meskat*, el porcentaje ascenderá 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 (ver Tabla 3.5).

I. 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 ETR) con el fin de evaluar su presencia en la cuenca de Oued el Hammam (ver fig. 3.53).

El sistema *meskat* se concentra en las partes media y alta de la cuenca. En la parte baja (tercio nororiental) es donde menos concentración hay, 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. Así mismo, la densidad baja de forma notable en la cabecera de la cuenca, correspondiente a la delegación de Sidi el Hani, lo cual concuerda con los datos ofrecidos por el Centro Nacional de Estudios Agrícolas en 2008 (ver tabla 3.2.), 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 presentada por Ben Salem *et al.* (2013, p.398), 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 implantada 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, Mulder y Begemann (1988, p.42) 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 que hemos obtenido a través de la fotointerpretación de puntos de muestreo (ver tabla 3.7) la ratio está muy cerca del uno, es decir, las dos partes básicas del sistema ocupan la misma extensión (ver tabla 3.7). Sin embargo, los resultados obtenidos de la cartografía detallada (ver tabla 3.6) demuestran que esta ratio varía ampliamente en función del sector cartografiado (entre 0'35:1 hasta 2'22:1) pero el promedio se sitúa en (1'2:1).

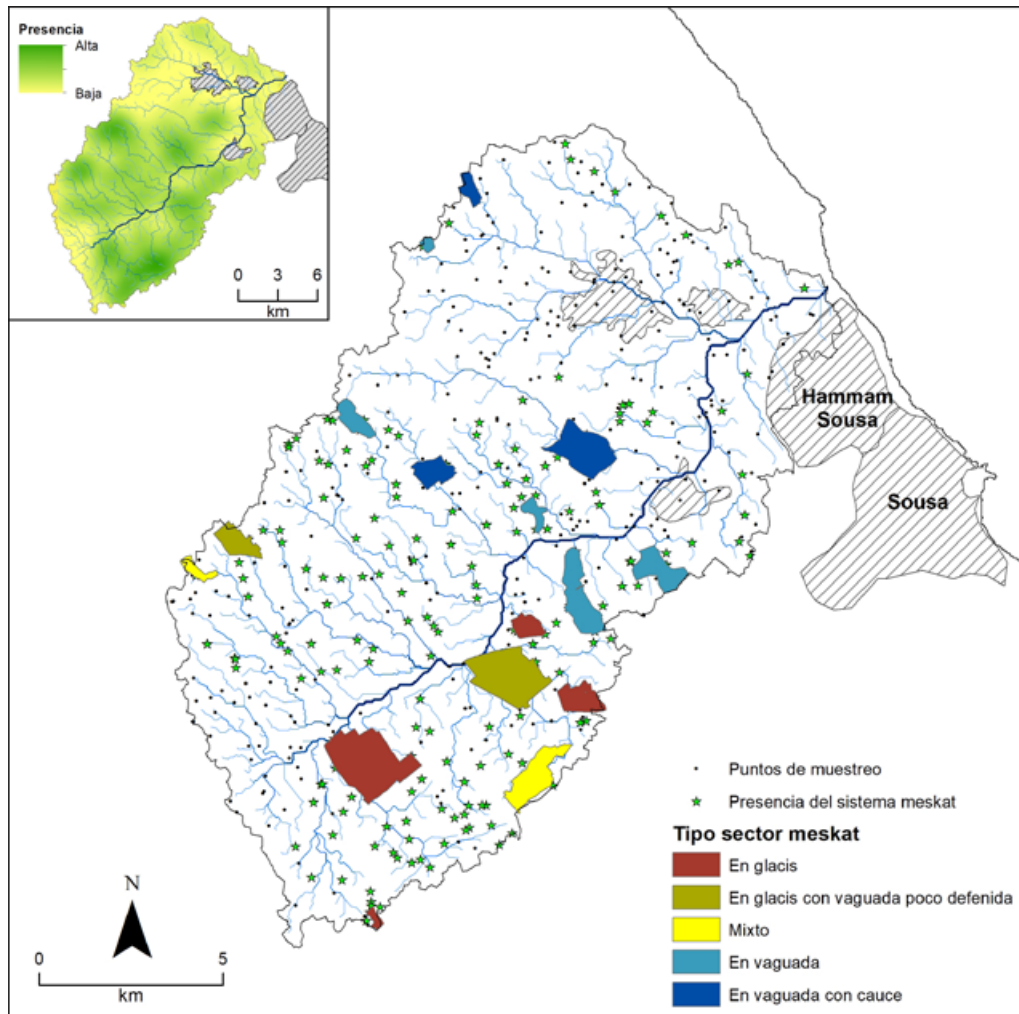


Figura 3.53: Presencia del *meskat* en la cuenca de Oued el Hammam y el correspondiente mapa de calor. Se indican también las tipologías según ambiente geomórfico de los sectores de *meskat* estudiados.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7: 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 meskat	OM		102 0'51
Erial meskat	EMA+EMS+EMT		98 0'49
Sistema meskat	OM+EMA+EMS+EMT		200 1

Fuente: Elaboración propia.

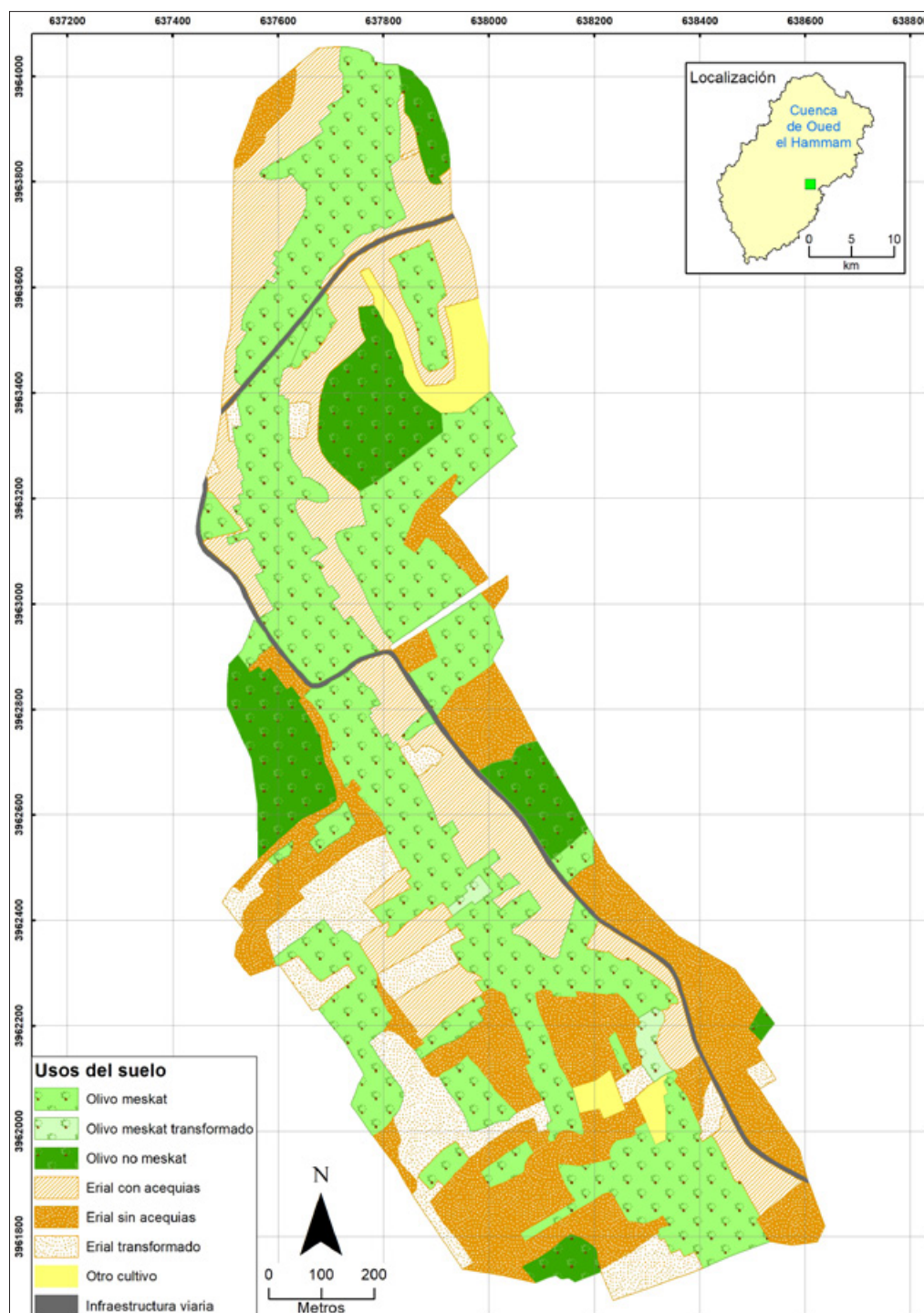


Figura 3.54: Ejemplo de cartografía detallada de sector de *meskat* en vaguada “Shabit al-Tlalma”.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.55: Ejemplo de cartografía detallada de sector de *meskat* en glacis “Hanshir Ghánib”.
Fuente: Elaboración propia.

II. Tipologías (estudio de casos)

Se ha intentado realizar una aproximación tipológica a los de sistemas de *meskat*, a partir de la cartografía detallada de una muestra de ellos (ver fig. 3.53).

De los diferentes criterios que podrían emplearse, hemos 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:

1. *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 ocupa toda la vaguada, indistintamente de su tamaño (fig. 3.54 Shabit al-Tlalma y anexo I, las fichas 4, 5, 7, 15 y 16), pero en ocasiones las vaguadas pueden estar compartimentadas en varios sectores de *meskat* contiguo separadas por otros usos (ej. ficha nº 16).

2. *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 (ver fig. 3.49 y anexo I, las fichas 3, 6 y 8).

3. *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 (fig. 3.55). 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 (ver anexo I, las fichas 1, 11, 12 y 14).

4. *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 (ver anexo I, las fichas 10 y 13). Además, la vergencia del agua no siempre va más o menos perpendicular a la vaguada: pueden aparecer sistemas con vergencia del agua casi paralela a las incipientes vaguadas.

5. **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 (ver anexo I, las fichas 2 y 9).

III. Características topográficas

Se quiere destacar aquí algunos rasgos topográficos del *meskat* a partir de los sectores cartografiados. Es una sencilla aproximación a valores medios de características topográficas básicas, pues para obtener unas características con parámetros exactos hubiese sido necesaria una cuantificación mucho más exhaustiva y precisa de numerosos sistemas individuales, a escala de propiedad, algo imposible de abordar en este estudio y fuera de sus pretensiones.

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 (ver tabla 3.6). Puede darse el caso de valores negativos en algún sector de glacis. Esta aparente contradicción se explica porque en un glacis los sistemas de *meskat* no están organizados de arriba (erial) a abajo (cultivo) en su conjunto, como ocurre en una vaguada, sino solo de modo interno: si los sistemas más bajos del sector tienen más proporción de erial que los de arriba, la altura media del erial puede ser superior a la del cultivo.

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, tanto 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 (ver fig. 3.56). 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:

Tabla 3.8: Distribución de porcentual de los diferentes tipos de Erial *meskat*.

Tipo de uso	Asociaciones de usos	Puntos	Porcentaje
Erial <i>meskat</i> con acequias	EMA		66 0'6734
Erial <i>meskat</i> sin acequias	EMS		15 0'153
Erial <i>meskat</i> transformado	EMT		17 0'1734
Conjunto de erial <i>meskat</i>	EMA+EMS+EMT		98 1

Fuente: Elaboración propia.

a) el erial llega en muchas ocasiones 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 *manafes* 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.

IV. Transformaciones recientes

El principal problema que afronta el sistema *meskat* en la región del *Sahel* tunecino es la transformación. 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 compartibles 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 llegaría lo que aportaba la zona de captación.

Los datos que arroja la fotointerpretación de puntos aleatorios refleja 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 “impluvium/cultivo” se traduce, más o menos, en el doble de superficie transformada, ya que modificar la zona de captación convierte de inmediato el olivo del *meskat* en un campo de olivo ordinario: cualquier modificación de la conectividad repercute en el funcionamiento del sistema.

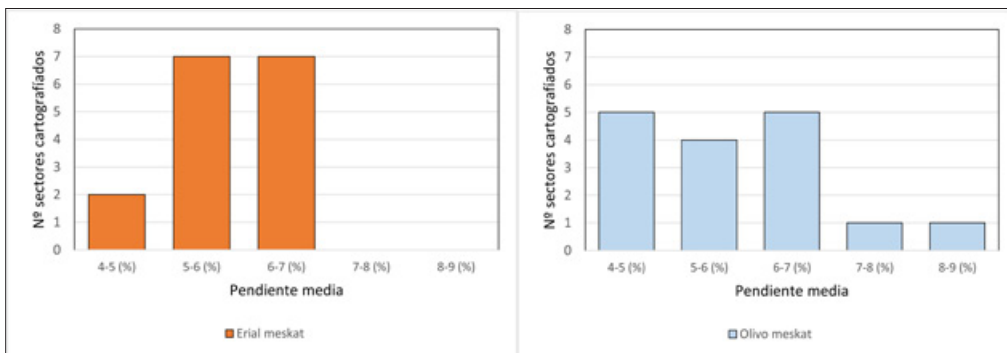


Figura 3.56: Histogramas de frecuencia de las pendientes del cultivo y del erial en diferentes sectores estudiados con sistemas de *meskat* en la cuenca del Oued el Hammam.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la cartografía de los sectores de *meskat* dan cifras algo diferentes, ya que vemos 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%.

En **conclusión**, en este caso estudiado de la gestión de las aguas de arroyada en laderas dedicadas al *meskat* en Sousse se observan unos rasgos y procesos equivalentes a los analizados en los dos casos anteriores (Monteagudo del Castillo y Segorbe). 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 mismos principios que los dos casos anteriormente estudiados: la gestión de la arroyada generada por las laderas. 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 paredes de piedra). La existencia de aljibes, que utilizan excedentes de escorrentía, es otro rasgo común al de las dos áreas anteriormente estudiadas.

En definitiva, pensamos que la interpretación del sistema *meskat* también debe hacerse en clave de adaptación eficiente al medio natural, y no tanto como un rasgo cultural específico.

4. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA EN FONDOS DE VALLE



*Cabecera de la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).
Fuente: Autor.*

4. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE ESCORRENTÍA EN FONDOS DE VALLE

Un paisaje agrario característico de sectores semiáridos o áridos es el cultivo casi exclusivo en fondos de valle. En ellos, las laderas suministran la arroyada difusa que, posteriormente, se concentrará en los valles. La ladera (o el glacis) es un espacio no cultivado, que puede dedicarse al pastoreo o que conserva simplemente su estado natural. La razón radica en que las precipitaciones suponen un aporte insuficiente para los cultivos, incluso para los menos exigentes, como palmeras, olivos o algarrobos.

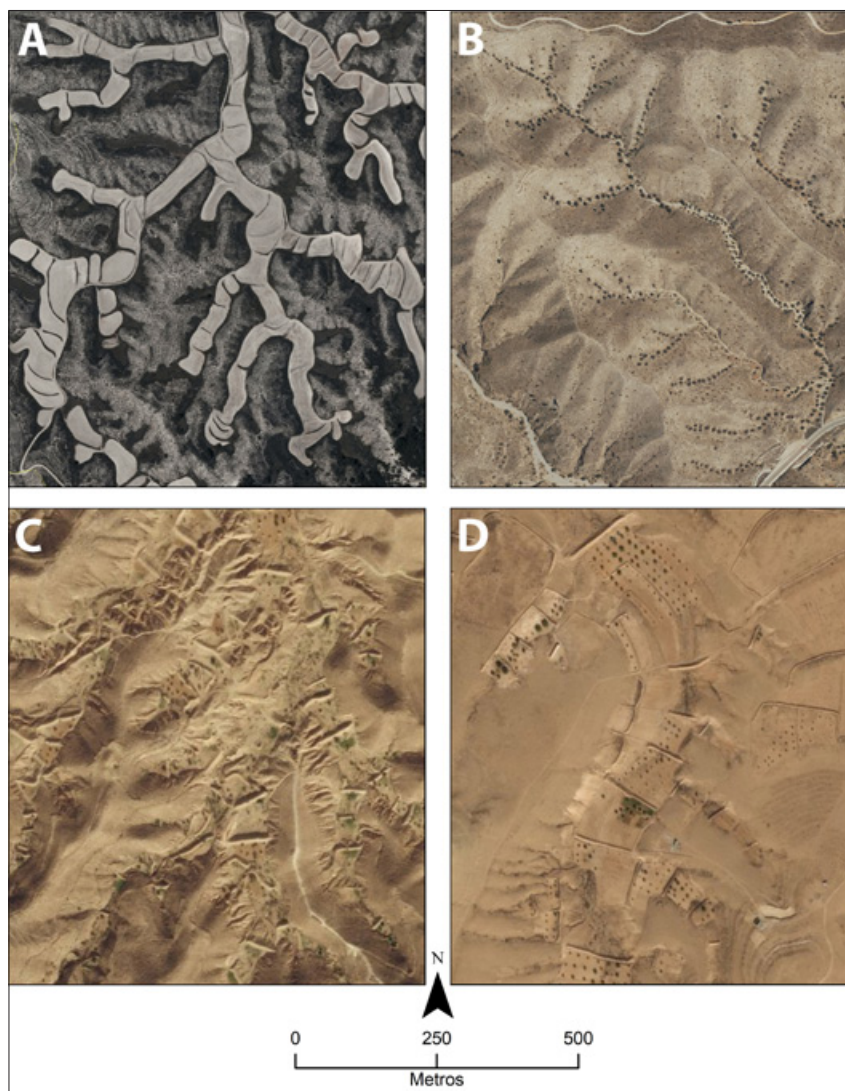


Figura 4.1: Vista panorámica cenital del paisaje agrario de fondos de valle en los cuatro sectores seleccionados: A- Valmadrid (Zaragoza). B- Albánchez (Almería). C- Matmata (Gabes). D- Koutine (Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

4.1. CONDICIONES GENERALES

Incluso en sectores semiáridos y áridos, la pendiente hacia el valle hace que, con lluvias de cierta intensidad y en litologías poco permeables, pueda generarse escorrentía concentrada en ellos. Esta arroyada concentrada, en condiciones de aridez, constituye un recurso imprescindible. Con estas circunstancias, el único modo de aprovechar el recurso es romper la conectividad de la arroyada concentrada con bancales o barreras. El simple hecho de transformar la pendiente longitudinal de un valle en la superficie de un bancal, incluso aunque ésta tenga algo de pendiente, es suficiente para favorecer nuevamente la infiltración. En algunas circunstancias, con un diseño perfecto y bien ajustado a las condiciones climáticas y topográficas, hasta podría conseguirse que no se cediese nada de agua a los bancales inferiores. Pero si se quiere conseguir esto último, el recurso más eficiente es poner un gran dique que embalse el agua. Es el caso de las *tabias*, que consiguen que el bancal funcione como un microembalse.

Así pues, para que se establezcan estos sistemas de *water harvesting* hace falta que se produzca arroyada concentrada de cierto alcance, y para ello un factor clave es la intensidad de las lluvias. También en este tipo de sistemas debe producirse una combinación entre aridez y torrencialidad. El problema está en que, a diferencia por ejemplo del *meskat*, aquí los elementos del sistema deben diseñarse contando con las situaciones extremas pues, en el momento en el que se recupera la conectividad de la arroyada, se dispara la faceta de riesgo. Las grandes catástrofes climáticas, como la de octubre de 1969 en Túnez (Poncet, 1970), o la de octubre de 1982 en Valencia (Pérez Cueva y Calvo, 1984), acaban con la rotura concatenada de los bancales y sus defensas. En el *meskat*, se busca un equilibrio entre la retención de agua en una caja y su paso a la inmediatamente inferior, para que todos los elementos del sistema se beneficien. El refuerzo de los puntos críticos (*manfas*) no es excesivo. Pero en los fondos de valle, normalmente con bancales protegidos con sólidas paredes de piedra, o bien se cuenta con que no se verterá el agua salvo en las situaciones extraordinarias, o se deben establecer sólidas defensas. Es una técnica que busca maximizar el recurso justamente para minimizar el riesgo.

Con todo, cuando las dimensiones de la cuenca son notables (o cuando la torrencialidad es muy elevada) el fondo de valle acaba abarrancándose y las crecidas empiezan a tener recurrencias temporales menores. Se hacen más frecuentes. Este es el contexto ideal para los sistemas que se estudiarán en el siguiente capítulo, las boqueras o *mgoud*. En realidad, se trata de dos técnicas de *water harvesting* de escorrentía concentrada en valles. La diferencia está en que, en los fondos de valle, la escorrentía concentrada es modesta y está controlada, mientras que en las boqueras y *mgoud* la escorrentía concentrada alcanza tal tamaño que es incontrolable, por lo que lo único de se puede hacer es captar parte de ella y derivarla hacia zonas de riesgo controlado.

La porción aprovechada es dispar: puede ir desde una pequeña fracción del caudal hasta su totalidad. En este sentido hay que señalar que cada boquera es única. No obstante, a pesar de las diferencias entre los sistemas de fondos de valle y los sistemas de derivación de escorrentía concentrada (*mgoud* o boqueras), al tratarse en ambos casos de escorrentía concentrada en valles, es frecuente encontrar casos en los que en una misma cuenca se pase de un tipo de sistema a otro, casi sin solución de continuidad. Normalmente los fondos de valle cultivados se sitúan en la parte alta de la cuenca y los sistemas de turbias en la baja (ver, por ejemplo, el sistema de Matmata, en este capítulo), pero pueden darse casos en los que lleguen a cambiarse.

Los sistemas de 'jessour'

En el caso de Túnez, un territorio con amplios sectores áridos y semiáridos, y con rasgos climáticos de cierta torrencialidad, este tipo de sistemas adquiere gran presencia y recibe el nombre genérico de *jessour* (*jesser* en singular, que significa "puente"), ya que la terraza que se forma detrás del dique es utilizada como sendero, lo que permite un fácil paso de una parte a otra (Bonvalot, 1986, p.167).

Los *jessour* se extienden en todo el sureste del país, sobre todo, en el interior de la gobernación de Medenine y en las montañas de Matmata, en la gobernación de Gabes (Bonvalot, 1979; El Amami, 1984; Ennabli, 1993; Ouessar *et al.*, 2004; Moussa, 2007...).

Según Ouessar *et al.* (2004, p.134), el sistema *jessour*, como cualquier otro sistema de recolección de agua, está formado por tres principales áreas:

- **El impluvium:** es el área destinada a recoger y canalizar el agua de inundación. Integra los cursos de agua naturales y sus cuencas vertientes.
- **El dique:** llamado *tabia* o *sed*, y *katra* cuando es de dimensión reducidas, es una barrera creada para bloquear los sedimentos y el agua de escorrentía.
- **La terraza o *jesser*:** es el área utilizada para cultivos. Se forma progresivamente por el depósito de sedimentos.

En una sección transversal (fig. 4.2) se puede observar los componentes principales de un *jesser*: una *tabia* de tierra reforzada con una pared de piedra seca llamada *sirra*. La cara exterior de la *tabia* recibe el nombre de *gfa* y la cara interior *ouajah* y ambas están colonizadas por vegetación herbácea, lo cual le otorga mayor resistencia. Con el paso del tiempo se acumulan detrás de la *tabia* grandes volúmenes de materiales sueltos, generalmente limos y arenas, que forman el *jesser* (Bonvalot, 1986, p.167), lugar donde se retiene el agua que permite el desarrollo de la actividad agrícola (o en algunos casos el pastoreo). Los principales cultivos son árboles frutales (olivos, almendros, higuera, palmeras etc.), pero también se cultiva cebada, lentejas... (Reij, 1991, p.24).

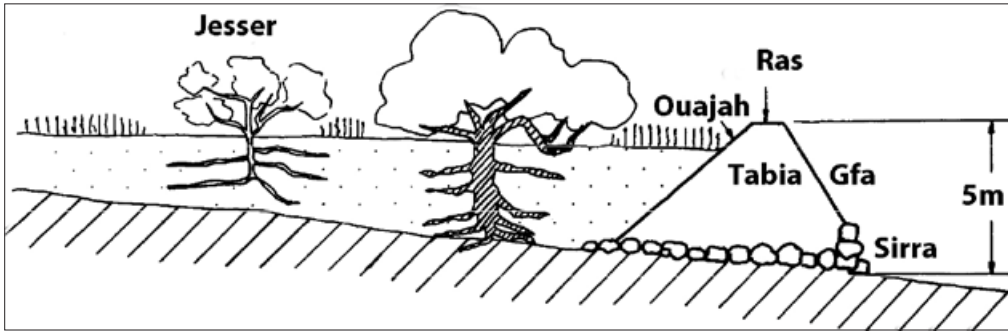


Figura 4.2: Sección transversal en un *jesser*.

Fuente: Bonvallot (1979, p.166).

El sistema de *jessour* está equipado con sumideros o aliviaderos para evacuar los excedentes de agua de arroyada, lo cual permite que las terrazas agua abajo se beneficien de dichas aguas. Una *tabia* puede disponer de uno o dos sumideros laterales (*manfas*, plural de *manafes*), otras veces se sustituyen por uno central (*masraf*).

La práctica de *jessour* asegura a los campesinos un control perfecto del agua. La clave está en buscar un equilibrio precario entre los beneficios de captura de agua y tierra, y los riesgos de rotura. Si los vertederos son demasiado altos, el siguiente *jesser* estará sin agua y los cultivos serán insuficientes. Si el aliviadero en sí no es lo suficientemente amplio, el agua almacenada durante la inundación puede socavar la *tabia* y formar un surco que, por erosión regresiva, causa la pérdida de gran parte de la tierra del *jesser*. Además, la ruptura de una *tabia* conduce casi inevitablemente a la ruptura de los que están aguas abajo. Si, por otro lado, los vertederos son demasiado bajos o demasiado anchos, habrá una captura insuficiente de agua y tierra (Bonvallot, 1986, p.168).

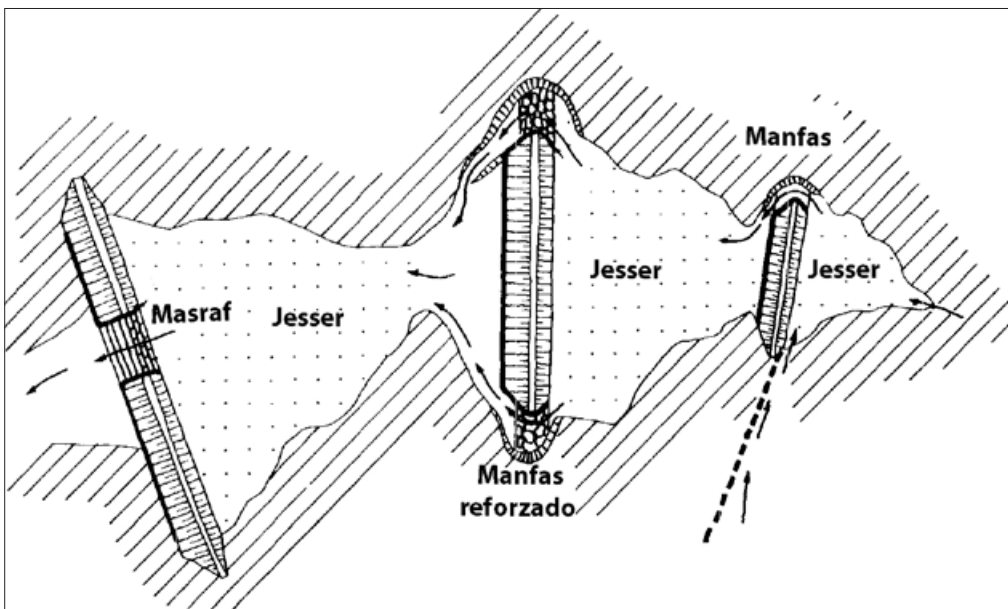


Figura 4.3: Posibles disposiciones de los aliviaderos en el sistema *jessour*.

Fuente: Bonvallot (1979, p.167).

Este sistema reduce los riesgos de inundación, al retrasar y amortiguar los picos de la escorrentía superficial, y es capaz, salvo en situaciones excepcionales, de retener la totalidad de la arroyada producida en la cuenca (Nasri *et al.* 2004, p.271). Su mantenimiento adecuado permite cierto control del agua de la inundación, pero la tendencia actual es su descuido y lento abandono, debido a la fuerte migración a las grandes urbes (Reij, 1991, p.24). Por ejemplo, después de cada episodio de lluvias con cierta intensidad, la acumulación de sedimentos es muy notable, lo que requiere la labranza de la superficie del *jesser* para evitar la formación de una capa de arcilla, que actúa como película impermeable y dificulta la infiltración del agua en el suelo. El carácter impermeable de las arcillas hace que una parte del agua de escorrentía permanezca atrapada en la superficie de la terraza y se pierda por evaporación (Moussa, 2007, p.75).

En España este tipo de sistemas de *water harvesting* no reciben un nombre específico, probablemente porque son mucho menos frecuentes. En Aragón reciben el nombre genérico de “vales” (Montserrat, 2000), aunque sin una consciencia exacta de que se trate de un sistema agrícola o agropecuario de aprovechamiento de la escorrentía. También pueden recibir el nombre de “cañadas” en el SE español (Hernández y Morales, 2013, p.107).

Ello no quiere decir, sin embargo, que no hayan sido estudiados como sistema agrícola de aprovechamiento de aguas o que se desconozca su función de acumulación de sedimentos (ver Gil Meseguer, 1988). Pero también se dan planteamientos en los que se incluyen estos sistemas en los aprovechamientos de “turbias” en general (Morales, 1969; Hernández, 1996; Mondéjar, 2009; y Morote, 2013). No obstante, Mondéjar (2009, p.64) plantea una clasificación de la técnica de boquera en dos grandes grupos. El primero incluye el aprovechamiento de la escorrentía difusa en las laderas, y el segundo, el aprovechamiento de las aguas concentradas en los cauces mediante dos modalidades, *in situ* y de derivación con boqueras.

4.2. METODOLOGÍA ESPECÍFICA

Una faceta que tienen estos sistemas de cultivos en fondo de valle es que se prestan a ser cuantificados de modo homogéneo. A diferencia de los sistemas de ladera o los de boqueras, en los que cada caso particular es una adaptación a su medio concreto, aquí se puede analizar la organización del espacio agrario con criterios de cuenca, ya que, hidrológicamente, funcionan como tal. Son sistemas con muchos pequeños elementos conectados por la escorrentía.

Para abordar el análisis de estos sistemas y poderlo hacer de modo comparado, evaluando las facetas de riesgo-recurso y de modo cuantitativo, se han establecido los siguientes criterios estratégicos:

1. El elemento básico de comparación son las cuencas hidrográficas que presenten

una morfología agraria de ocupación casi exclusiva de fondos de valle (fig. 4.1).

2. Se han elegido cuencas que presenten unas condiciones básicas de aridez y torrencialidad que permitan suponer que el diseño del sistema ha de solucionar problemas equivalentes. Las cuencas elegidas están ubicadas en las cercanías de Valmadrid (provincia de Zaragoza), Albánchez (provincia de Almería), Matmata (gobernación de Gabes) y Koutine (gobernación de Medenine).

3. Se ha contextualizado el medio físico de cada cuenca con los mismos criterios.

4. Se ha homogeneizado la metodología aplicada para que los datos obtenidos fuesen comparables. En este sentido, en el trazado de la red fluvial, el elemento de conectividad del sistema, se ha prescindido de la calidad de las fuentes de datos españolas (modelos digitales de alta resolución, datos LIDAR...) y se ha trabajado con fuentes idénticas o comparables (imágenes de Google Earth, por ejemplo).

5. Se han planteado cuestiones básicas, como por ejemplo el porcentaje de tierra cultivada respecto al total, y se han dejado aparte cuestiones que requiriesen aplicar metodologías no comparables.

La metodología aplicada se ha desarrollado con los siguientes pasos:

1. Reconstrucción de la red fluvial a partir de imágenes de Google Earth mediante fotointerpretación y con la utilización de los datos de altura que proporciona el modelo digital del terreno del propio sistema. Se han considerado cauces, o concavidades de laderas que concentren claramente el flujo, a partir de una longitud mínima de 50 m. Se ha comprobado que esta longitud cubre prácticamente todos los casos en los que aparecen bancales interpuestos al flujo del agua. Se ha procedido a la jerarquización los cauces según su orden siguiendo el método de Strahler.

2. Con la misma fuente, se ha fotointerpretado el uso del suelo, distinguiendo entre: bancales de fondo de valle, otros espacios cultivados en lugares que no sean fondo de valle y resto.

3. Se ha delimitado la cuenca hidrográfica con el trazado preciso de su divisoria.

4. Se ha caracterizado la morfometría de las cuencas estudiadas y sus redes de drenaje (ver parámetros en tabla 4.1).

5. Así mismo se ha calculado la superficie dedicada al cultivo de fondo de valle, distinguiéndola de otros cultivos, su número de bancales, su longitud media y su superficie media.

6. Para poder destacar las diferencias espaciales a nivel de cuenca, se han delimitado las subcuencas vertientes de los principales dos cauces que la conforman, así como el sector bajo, desde la confluencia de estos dos cauces principales hasta el final del sistema, y se han calculado los parámetros detallados en el paso anterior. En el caso de

la cuenca de Koutine, en Medenine, al carecer de dos cauces principales claramente definidos, se ha procedido a dividir el cauce principal en tres tramos de igual longitud y se han realizado los mismos cálculos para las subcuencas de dichos tramos.

7. Se ha realizado, en cada una de las cuatro cuencas estudiadas, un muestro aleatorio de 30 puntos que coincidan con las zonas dedicadas al cultivo de fondo de valle. Para cada uno de los puntos de muestreo, se ha delimitado su cuenca vertiente exacta y se ha calculado su superficie total, así como la superficie dedicada al cultivo de fondo de valle dentro de ella.

8. Con los resultados del paso anterior, y con el fin de poder estimar la superficie mínima a partir de la cual es viable esta modalidad de aprovechamiento de escorrentía concentrada, se ha efectuado una correlación entre la superficie de captación y la superficie de fondo de valle aprovechado. Se han definido dos rectas de regresión lineal, tanto para el conjunto de los 30 puntos, como para una selección de los puntos que poseen una superficie de cuenca vertiente inferior al promedio de todas las superficies captación de los treinta puntos.

Tabla 4.1: Parámetros calculados para las cuencas estudiadas.

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Superficie (A)	km ²	Amplitud (W)=(A/Lb)	km/km ²
Perímetro (P)	km	Razón de elongación(Re) (Lw/D)	km/km
Diámetro del círculo asociado (D)	km	Punto más alto (hmax)	m
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	Punto más bajo (hmin)	m
Longitud del cauce principal (Lb)	km	Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m
Eje mayor (Lw)	km	Pendiente media del cauce principal (dn/Lb)/10	%
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km

Fuente: Elaboración propia.

4.3. CULTIVOS EN FONDO DE VALLE EN VALMADRID (ZARAGOZA)

El sector seleccionado está situado al NE de Valmadrid, a poco más de 2km de la localidad, y unos 23 km al SE de Zaragoza. Se trata de un pequeño barranco con una cuenca alargada de unos 4'06 km de eje y 4'91 km² de superficie total de la cuenca. Es afluente del Barranco de la Val, una pequeña cuenca que vierte sus aguas directamente al Ebro, entre los ríos Huerva y Aguasvivas, a la altura de El Burgo de Ebro. En su tramo final se denomina Barranco de las Casetas.

La cuenca estudiada está formada por dos subcuencas en cabecera, la más pequeña de las cuales recibe el nombre de Val de Huerva. La principal no tiene ningún topónimo de referencia en toda la cartografía consultada, por lo que la denominaremos Val de Los Altares, el principal topónimo de cabecera.

El fondo de los valles (denominados localmente “vales”) está dedicado al cereal en su totalidad. El límite entre lo cultivado y lo no cultivado es nítido, y no hay sectores cultivados fuera del fondo de los vales, por lo que su cartografía y cuantificación posterior es fácil.

4.3.1. Contexto ambiental

4.3.1.1. Geología y relieve

A- CONTEXTO GEOLÓGICO

Todo el sector está situado en plena depresión neógena del Ebro, en una ubicación bastante central, pero decantada hacia el Sistema Ibérico. En esta parte de la depresión del Ebro empiezan a crearse condiciones propicias para la sedimentación justo a partir del plegamiento finioligoceno de la cordillera. Como ocurre en general en las grandes cuencas neógenas ibéricas, hay una secuencia desde la sedimentación de detríticos gruesos (conglomerados) a detríticos finos (arcillas), calizas lacustres y evaporitas (yesos) que va, tanto de base a techo, como de sectores proximales a distales. En este sector ya se dan condiciones para que se depositen los sedimentos más finos, por su posición bastante separada de la cordillera.

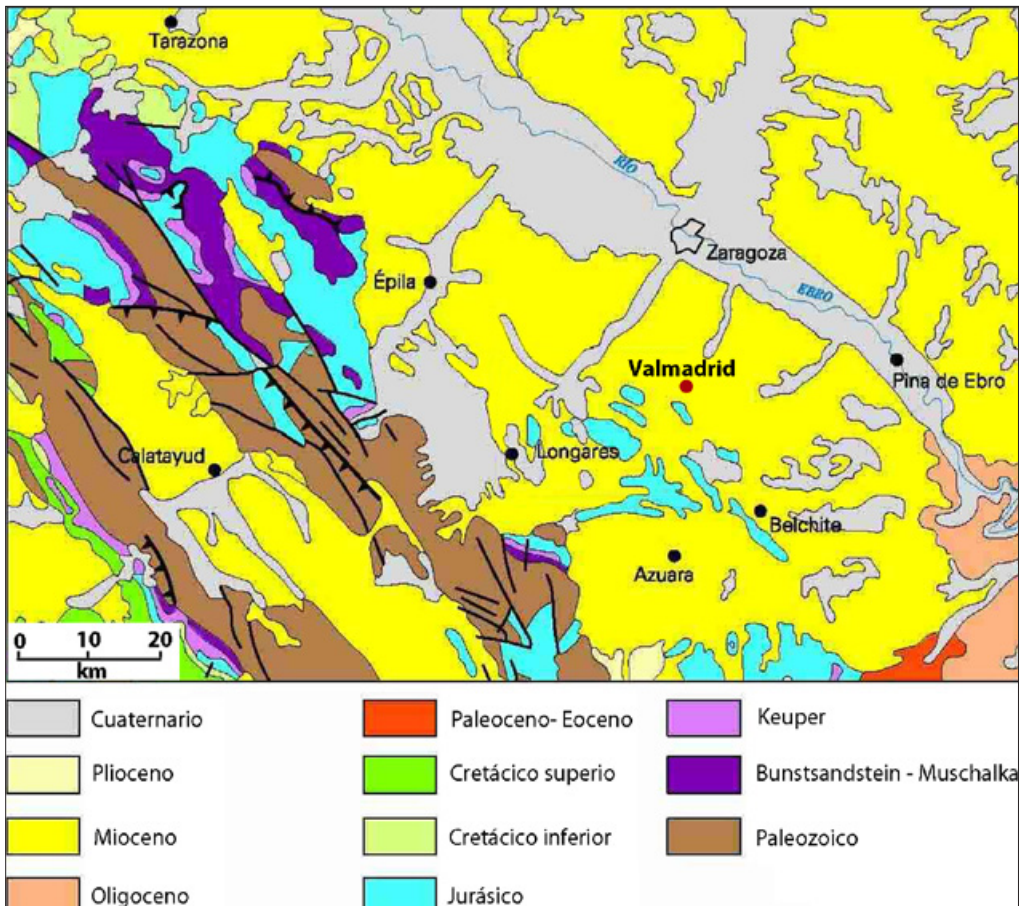


Figura 4.4: Esquema geológico regional en la zona de estudio de Valmadrid (Zaragoza).

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGME (2005).

En general, la transición entre el dominio ibérico y el del valle del Ebro es bastante clara, pero no del todo nítida. En el eje de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica llega a aflorar el Paleozoico, y en su borde hacia el Ebro, sucesivamente, el Triásico y el Jurásico (fig. 4.4). Ya dentro de la Depresión del Ebro pueden aparecer pliegues ibéricos aislados que emergen por encima de la sedimentación neógena. Justo al SW de la localidad de Valmadrid aparece uno de ellos (ver fig. 4.5), perteneciente a la alineación de pliegues ibéricos más externa. Sin embargo, su efecto en las características geológicas de la cuenca estudiada es nulo. Lo que importa en ella es la secuencia sedimentaria de muro a techo de este sector distal. Se trata de cuatro unidades, con muchos cambios laterales de facies y con contactos discordantes entre ellas que representan los tramos superiores del relleno neógeno de la Depresión del Ebro. Estas unidades, de más antigua a más moderna, son las siguientes:

- a. En la base se empieza con los yesos masivos del techo de la Unidad Remolinos-Sierra de Lanaja, del Aragoniense inferior.
- b. En el tramo central se sigue con la Unidad Sierra de Pallaruela-Monte de la Sora. En la zona estudiada, esta unidad del Aragoniense inferior y medio está representada por una base de lutitas rojas seguida de yesos masivos y margas.
- c. Posteriormente, la parte superior de este tramo central está constituida por los materiales de la Unidad Sierra de Lanaja-Montes de Castejón, una serie alternante de margas, margocalizas y calizas tableadas.
- d. En techo afloran los materiales de la unidad más moderna, la de San Caprasio, del Vallesiense.

Estas unidades cronolitoestratigráficas están siempre en contacto discordante entre ellas, en respuesta a los movimientos tectónicos que ocurren durante su sedimentación. En general, los materiales de las unidades inferiores presentan buzamientos de escasa pendiente, salvo en algún pliegue de escala local. La unidad de San Caprasio, sin embargo, en el techo de la serie, reposa tabular sobre el resto de materiales.

En la cuenca de la Val de Huerva afloran casi exclusivamente los yesos y margas de la Unidad Sierra de Pallaruelo-Monte de la Sora. En la divisoria de cabecera de las dos subcuencas principales llegan a aflorar, también, las margas, margocalizas y calizas tableadas de la unidad inmediatamente superior, la de Sierra de Lanaja-Montes de Castejón, de materiales algo más resistentes a la erosión (fig. 4.5).

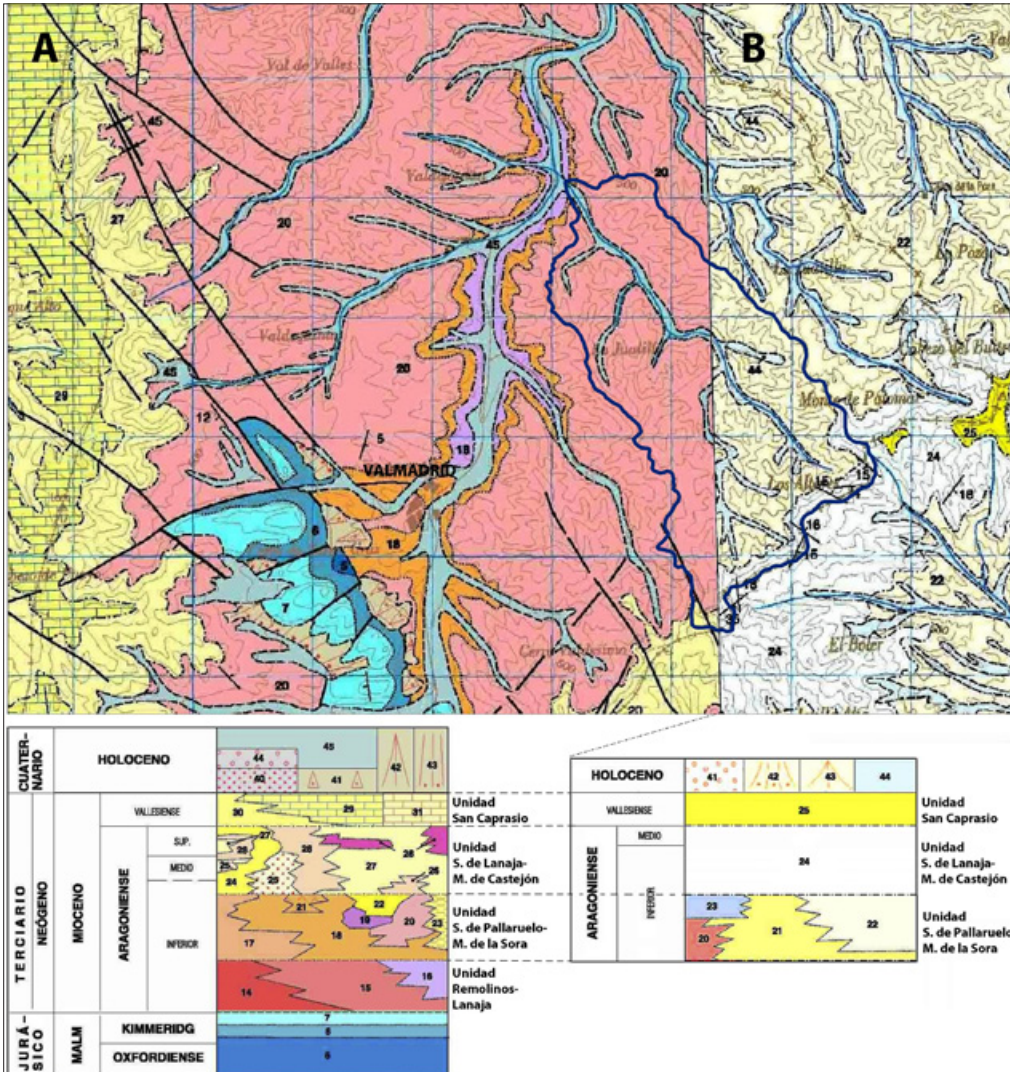


Figura 4.5: Contexto geológico de la cuenca de la Val de Huerva, en Valmadrid. Litologías: A- (5) calizas bioclásticas, (6) calizas y margocalizas, (7) calizas con oncolitos, (16) yesos masivos, (18) lutitas rojas, (20) yesos masivos, (27) margas, margocalizas y calizas, (29) calizas arenosas y margas, (45) aluviones cuaternarios; B- (22) yesos con margas, (24) calizas tableadas con margas, (25) lutitas, areniscas y calizas, (44) aluviones cuaternarios.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGME (2005) e IGME (2006).

B- GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE

El relieve de este sector está determinado totalmente por la secuencia estratigráfica descrita en el apartado anterior y por el encajamiento del río Ebro a partir del Plioceno. En conjunto es un relieve tabular de muelas y cerros testigo, originados por la protección que supone la tabla calcárea superior (calizas de San Caprasio) respecto al resto de materiales, siempre más blandos. Estas calizas lacustres son características del techo de la serie neógena en zonas distales, pues responden al momento y lugar en que se dan las mejores condiciones para su sedimentación.

El encajamiento del río Ebro es una respuesta genérica de todos los ríos ibéricos mediterráneos al proceso de *rifting* europeo, que activa la erosión remontante de

pequeños cauces vertientes al Mediterráneo que logran capturar zonas endorreicas del interior (Castelltort *et al.*, 2016, p.52). La más grande de ellas es la cuenca del Ebro (Riba, Reguant, y Villena, 1983; García Castellanos *et al.*, 2003; Babault *et al.*, 2006; Arche, Evans y Clavell, 2010).

Una vez superada la dificultad inicial de erosionar la tabla calcárea superior, la red fluvial puede encajarse rápidamente (básicamente durante el Plioceno superior y Cuaternario).

En la cuenca de la Val de Huerva, el vaciado erosivo de la red fluvial, desencadenado por el encajamiento del río principal (Barranco de la Val), ha desmantelado totalmente la tabla calcárea superior (calizas de San Caprasio) y casi totalmente la unidad de margas y margocalizas de la Unidad Lanaja-Castejón, que sólo aparecen en cabecera. La incisión total es de 242 m, entre los 697 m del punto más alto de la cuenca y 455 m en su confluencia con el Bco. de la Val. Esto hace que se haya erosionado casi toda la potencia de la Unidad Pallaruelo-Sora, formada en este lugar por yesos masivos.

La facies de yesos masivos de Pallaruelo-Sora está formada por una sucesión de bancos de 0'20 a 0'60 m de potencia, de aspecto tabular, de yesos nodulares y acintados que alternan con margas y margas yesíferas grises y verdosas, y finos niveles limosos y carbonatados (IGME, 2005). La escasa dureza de los yesos, su carácter rítmico y las intercalaciones de capas de estas capas de margas y limos han facilitado la incisión y el desmantelamiento de los materiales, y han dado lugar a una red de drenaje muy densa (15'93 km/km²) y a un relieve que recuerda vagamente al de los *badlands*.

4.3.1.2. Clima

El clima de Valmadrid es el propio de la transición entre los tipos BSk y Cfa de Köppen (ver fig. 1.5). Es un clima que combina varias tendencias: a) la tendencia a la mediterraneidad, visible en el periodo árido estival y en unas temperaturas estivales calidas (23'2°C de media mensual en julio; b) la tendencia a la oceaneidad, visible en un régimen mensual de lluvias bastante equilibrado, con máximos primaverales; y c) la tendencia a la aridez, que se manifiesta en unas lluvias totales escasas (414 mm), que apenas compensan las exigencias del régimen térmico (13'9°C) (fig. 4.6).

La combinación de estas tendencias, en Valmadrid, se traduce en un clima que está justo en el límite entre la estepa fría intramediterránea y los Cfa europeos (clima piemontés de Martonne). En las tierras bajas del centro del valle del Ebro (por ejemplo, en los Monegros) es donde se alcanza la máxima aridez, y se dan los climas esteparios más puros. En los márgenes de transición hacia la Cordillera Ibérica aumentan las lluvias y se equilibran estacionalmente (aumenta la tormentosidad estival a la vez que disminuye la precipitación otoñal típica del clima mediterráneo provenzal), por lo que aparecen regímenes Cfa de Köppen (ver fig. 1.4). En realidad, esta variante climática

también es de transición en sí misma, pues conserva el régimen “f” de los climas oceánicos y la “a” del verano cálido mediterráneo.

La tendencia a la aridez que muestra el valle del Ebro en general, y la de Valmadrid en particular, es de índole exclusivamente orográfica. Se trata de una cuenca que está a resguardo a) de las advecciones inestables del N y NW por los Pirineos y todas las montañas del NW peninsular, b) de las advecciones inestables del SW por toda la secuencia de sistemas montañosos que atraviesan, y en última instancia por la Cordillera Ibérica, y c) de los temporales de levante procedentes del Mediterráneo, por la Cordillera Costera Catalana y porque son de efectos mucho más litorales.

Con estas circunstancias, comunes a todas las depresiones interiores de la Península Ibérica, la intensidad de la aridez depende de la eficacia de las barreras orográficas, no de la ausencia de mecanismos que produzcan lluvia. A pesar de que, a escala peninsular, esta eficacia es máxima en el conjunto del valle del Ebro, en Valmadrid la aridez es moderada (claramente la menor de los cuatro lugares estudiados).

En cuanto a la intensidad de la precipitación, también es moderada, básicamente por las mismas razones comentadas para la aridez. En el Atlas Climático de Aragón (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007) la cifran en 82mm/día, para el periodo 1970-2000, muy por debajo de la que se registra en el litoral mediterráneo. En el litoral N de Castellón, por ejemplo, se registran lluvias máximas en 24h con recurrencias de 30 años que superan 200 mm de lluvia (Martín Vide, 1994, p.96), y se han llegado a alcanzar 600 mm en el episodio temporal del 21 al 24 de octubre de 2000 en puntos de la cuenca del Ebro (Els Ports, Matarranya) y Maestrazgo (Armengot, Abellán y Pérez Cueva, 2001, p.292). La ya señalada escasa penetración hacia el interior de estos temporales de levante, el desgaste de los grandes temporales atlánticos y el límite máximo de las lluvias intensas de carácter puramente convectivo se aúnan para explicar esta moderada torrencialidad de la zona.

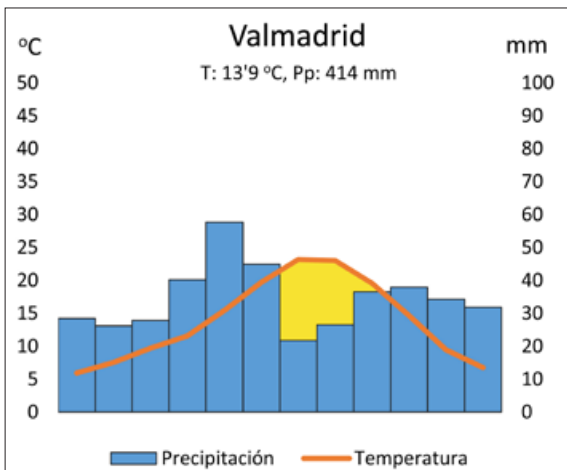


Figura 4.6: Diagrama ombrotérmico de Gausson de la localidad de Valmadrid.

Fuente: Elaboración propia, a partir del Atlas Climático de Aragón (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007).

4.3.2. Descripción del sistema

4.3.2.1. Cuenca y red fluvial

La cuenca de la Val de Huerva, como señalábamos en 4.3, es un pequeño barranco con una extensión de 4'9 km² de superficie total, afluente del Barranco de la Val, una pequeña cuenca que vierte sus aguas directamente al Ebro por su margen derecha. El cauce principal llega a ser de orden 5, según el criterio de jerarquización de Strahler.

La cuenca es alargada, con un eje mayor de 4'1 km y una razón de elongación (según Schumm, 1956) de 0'62, lejos de la circularidad perfecta (ratio 1) (tabla 4.2). El desnivel máximo no es muy acusado (242m), aunque, dada la densidad de drenaje (15'9 km/km²), la cuenca presenta cierta rugosidad del relieve, acentuada por el hecho de que la red principal se encaja mucho, incluso en cabecera (ver fig. 4.7).

La red se organiza en torno a dos grandes cuencas de cabecera, ambas de orden 4 de Strahler, la Val de Huerva y la cabecera principal. Ambas confluyen aproximadamente en el centro de la cuenca. La elevada razón de elongación y la escasa amplitud de la cuenca (0'96 km/km²) hacen que, desde la confluencia de las dos cabeceras hasta la desembocadura, la red presente una forma en espiga.

El desnivel total de la cuenca, distribuido en todo el eje mayor, da un valor de 59'6m por kilómetro. La pendiente media del cauce principal (4'7%) es otra medida que complementa la idea de que, sin tener unas pendientes elevadas, la cuenca es capaz de generar escorrentías que exijan ser controladas con bancales.

Tabla 4.2: Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).

Valmadrid					
Superficie (A)	km ²	4'92	Amplitud (W)=(A/Lb)	km/km ²	0'96
Perímetro (P)	km	11'71	Razón de elongación(Re) (Lw/D)	km/km	0'62
Diámetro del círculo asociado (D)	km	2'50	Punto más alto (hmax)	m	697
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	78'30	Punto más bajo (hmin)	m	455
Longitud del cauce principal (Lb)	km	5'13	Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	242
Eje mayor (Lw)	km	4'06	Pendiente media del cauce principal (dn/Lb)/10	%	4'72
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	15'93	Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	59'64

Fuente: Elaboración propia.

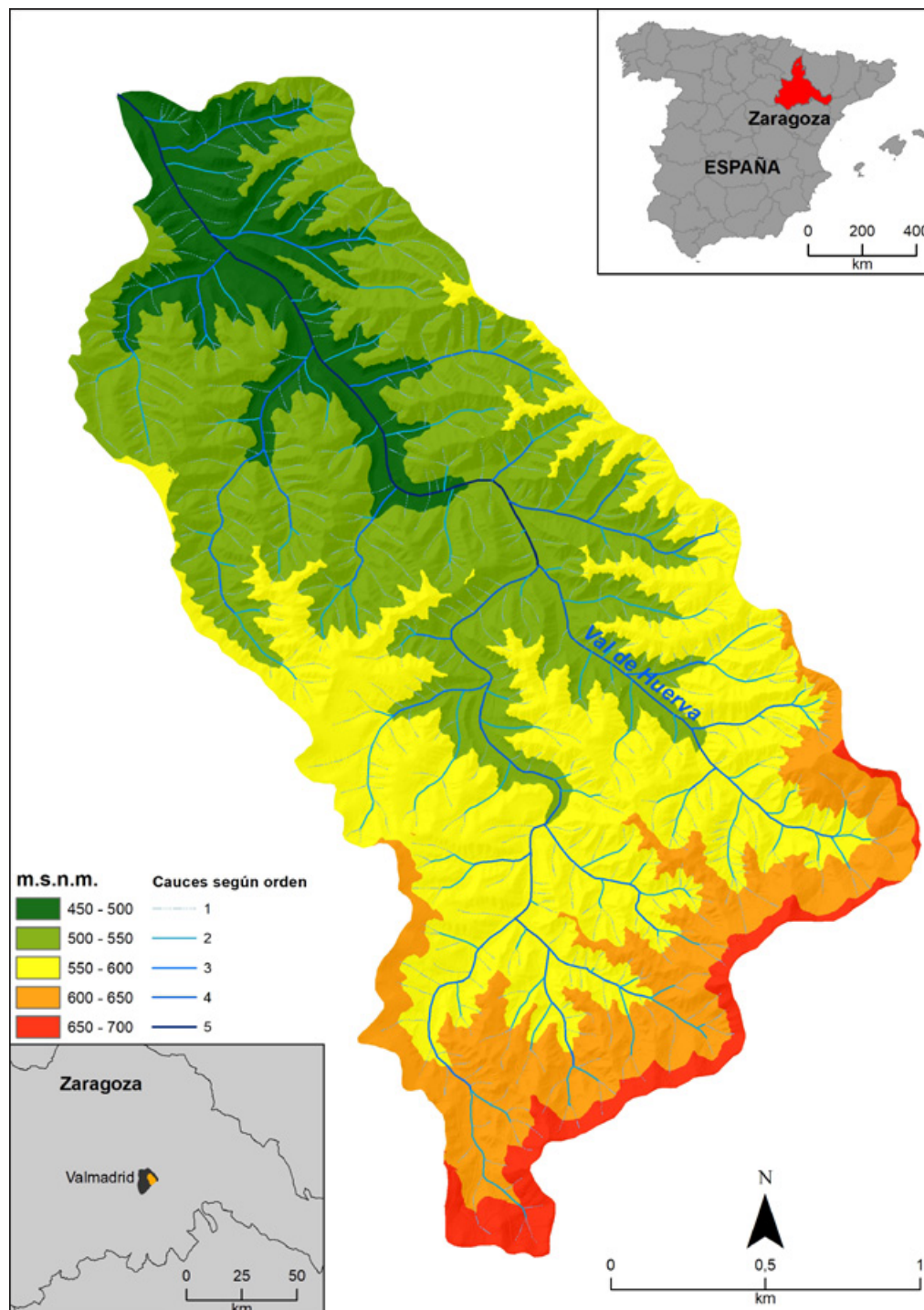


Figura 4.7: Localización y red hidrográfica de la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).
Fuente: Elaboración propia.

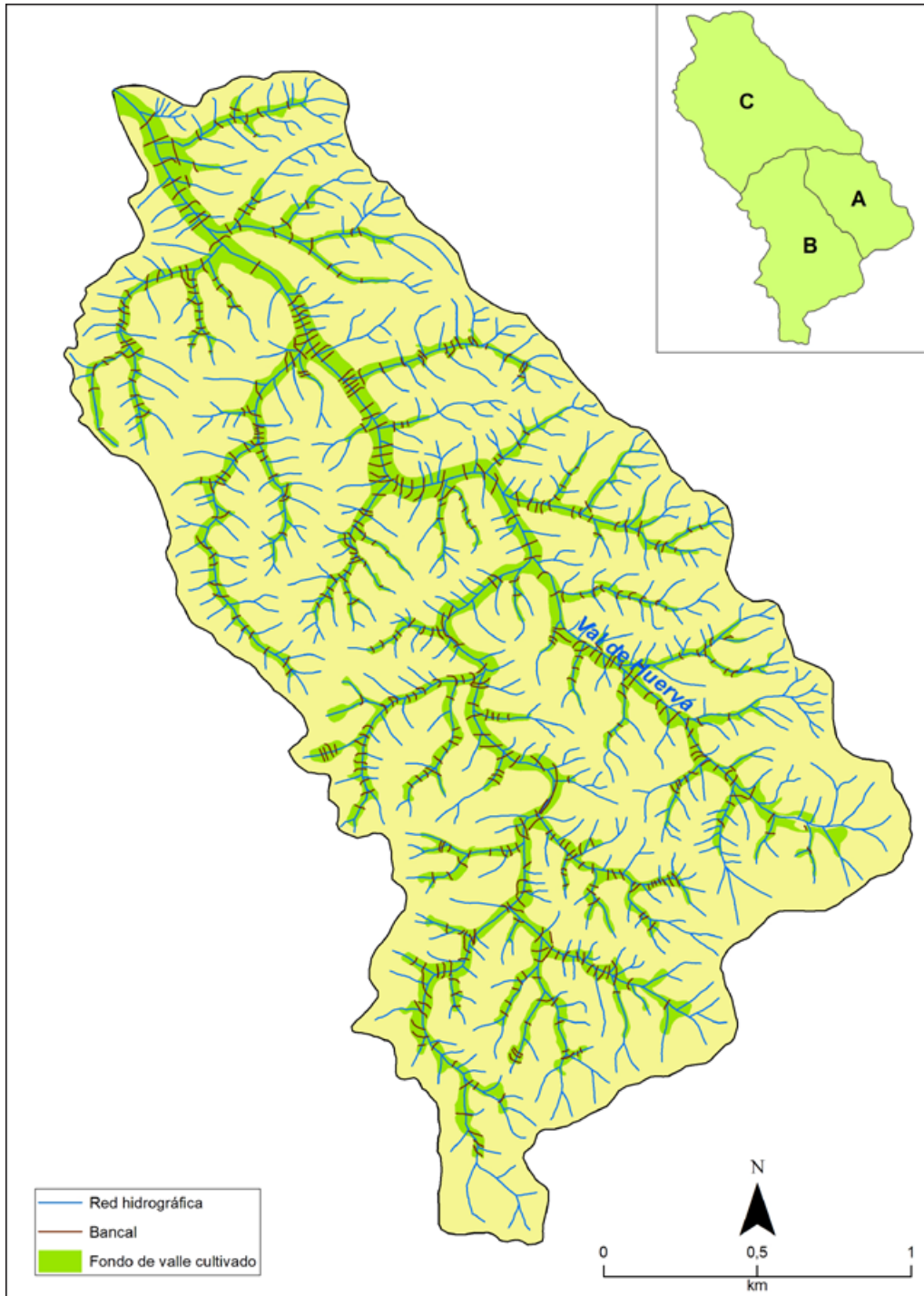


Figura 4.8: Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2. Los cultivos

A- USOS DEL SUELO

Los cultivos de la cuenca están dedicados exclusivamente al cereal. En este aspecto, podemos concluir que el sistema agrícola de la cuenca de la Val de Huerva es muy simple: solo cultivos de cereal en fondo de valle y total ausencia de cultivo fuera de fondo de valle (ver fig. 4.8 y tabla 4.3).

La distribución espacial de estos cultivos es totalmente continua, sin interrupciones, dado que las características de la red fluvial lo permiten. El único factor limitante para la presencia de cultivos en fondo de valle es que tengan una mínima anchura. Esto ya se consigue normalmente en los cauces de orden 2.

El porcentaje de superficie cultivada representa aproximadamente una quinta parte de la superficie total (19'3%) (tabla 4.3) El resto, como señalábamos, son laderas dedicadas al pastoreo de ovejas, que aprovechan tanto los rastrojos de los cultivos de cereal como los escasos pastos de las laderas. Este elevado porcentaje, mayor que el de las otras cuencas estudiadas, es debido a que se aprovechan todos los fondos de valle, ya que no llega a generarse ningún cauce que corte los bancales y disminuya su extensión. También influye que, en los sucesivos laboreos, el agricultor ha ido zapando poco a poco la base de las laderas (según se puede apreciar en el perfil detallado de su base), e incorporando tierra y extensión a los fondos de valle.

Tabla 4.3: Superficie cultivada en la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).

Valmadrid		
Superficie de la cuenca	km ²	4'92
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'95
Cultivo fuera del fondo de valle	km ²	0
Superficie no cultivada	km ²	3'97
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	19'3
% Cultivo fuera del fondo de valle	%	0
% Superficie no cultivada	%	80'7

Fuente: Elaboración propia.

B- ESTRUCTURA ESPACIAL

El sistema empieza normalmente con cauces de orden 2 de Strahler, pues los cauces de orden 1, que empiezan a formarse ya cerca de las divisorias, suelen tener una pendiente inapropiada y escasa superficie de generación de escorrentía. Con el sistema de laboreo tradicional llegaban a cultivarse las partes bajas de los cauces de orden 1, en su conexión con cauces de orden superior (ver fig. 4.11), pero en la actualidad estos antiguos espacios de cultivo están abandonados.

La figura 4.10 muestra una clara relación lineal entre la superficie total cultivada y la superficie vertiente, es decir, entre la superficie generadora de escorrentía y la que puede aprovecharse como cultivo. Se han elaborado dos figuras, una a partir de 30 puntos de muestreo aleatorio que recayesen en zona de cultivo de fondo

de valle y otra descartando los puntos con superficie vertiente superior a la media (ver metodología específica en 4.2), para poder observar mejor los requerimientos y características del arranque de los sistemas.

En general, las pendientes de la recta de regresión son muy semejantes (un poco superiores en el arranque del sistema), lo que significa que en la parte baja de la cuenca no hace falta que aumente tanto la superficie vertiente, para un mismo incremento de superficie cultivada en fondo de valle (probablemente por el aporte de agua desde la parte superior de los sistemas a la inferior). Sin embargo, la escasa diferencia entre ambos valores de pendiente hace pensar en que este aporte es muy escaso, y que el agua se aprovecha sobre todo en cada bancale, es decir, que la rotura de la conectividad del sistema es muy elevada y que se consigue con su propio diseño.

En ambas figuras (A y B), la recta de regresión comienza casi desde el punto 0, aunque lógicamente por encima, pues hace falta un mínimo de superficie vertiente para que haya superficie cultivada. Pero la superficie mínima para que empiecen a haber bancales es muy pequeña, de poco más de una hectárea. Este parámetro, entendemos que es más correcto observarlo con la recta de ajuste de la figura A (cuencas más pequeñas, valor de 1'17 ha), que con el ajuste realizado con todas las cuencas



Figura 4.9: Panorámica general de la cabecera de la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).
Fuente: Autor.

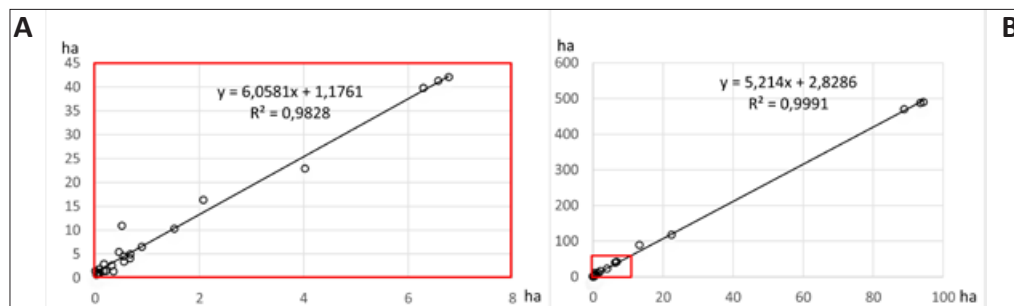


Figura 4.10: Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza): A- Subcuencas con superficie inferior a la media y B- las 30 subcuencas.

Fuente: Elaboración propia.

C- BANCALES

También se ha intentado analizar si hay diferencias significativas entre diferentes partes de la cuenca: A) cabecera mayor, B) cabecera menor y C) parte baja, entre la confluencia de los cauces de A y B y el final del sistema. Para ello se han parametrizado tres indicadores indirectos, como son la longitud media de los bancales, la superficie media cultivada por cada bancal y el porcentaje de superficie cultivada de cada sector respecto a la superficie total del sector.

Los resultados refuerzan la idea de la gran homogeneidad de las características de los sistemas en cualquier punto de la cuenta. La longitud media de los bancales apenas se incrementa en la parte baja de la cuenca, y el pequeño incremento de la superficie media de los bancales de la parte baja es debido más a que son un poco más largos que a que sean más anchos. Aunque el valle sea más amplio, el labrador puede ajustar el ancho que aprovecha, y aunque la pendiente del valle sea más baja, el labrador puede jugar con la altura de la pared/talud para que el bancal sea más o menos largo. Al final, lo que determina el diseño y sus medidas es el *input* hídrico.

Dada esta gran homogeneidad, lógicamente, el porcentaje de superficie cultivada en fondo de valle respecto a la total es también muy parecido.

Tabla 4.4: Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza) (dos cabeceras y parte baja –ver distribución espacial en Anexo II-1).

		Valmadrid	A	B	C	Total
Nº de bancales	n		72	183	220	475
Longitud media bancales	m		39'1	33'6	40'4	38'9
Superficie media de bancal	m ²		1873	1896	2119	1996
% Superficie cultivada en fondo de valle	%		14'86	20'48	20'17	19'28

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.11: Detalle de bancal de cereal en la Val de Huerva, en el que se observa un pequeño bancal lateral no cultivado (derecha) y un talud de tierra y vegetación como única defensa. En los casos de bancales con vergencia frontal, es posible apreciar pequeñas roturas y antiguas roturas reforzadas con piedras.

Fuente: Autor.

Como puede observarse en la figura 4.1 A y en diferentes fotografías (por ejemplo, en fig. 4.9), los bancales ocupan la totalidad el valle, de una ladera a otra. Dada la casi total ausencia de litologías duras en la cuenca, se utiliza el talud con vegetación herbácea como elemento de defensa. Sólo esporádicamente se observa la utilización de bloques de yesos para reforzar algún punto débil o en el que se ha producido alguna rotura.

La solución diseñada para controlar la conectividad se basa en dos elementos. El principal ya ha sido señalado, el tamaño de los bancales. Si es insuficiente, en el sentido de que una precipitación intensa supere la capacidad de infiltración del bancal y obligue a éste a verter parte del agua al inferior, se utiliza la técnica de derivar el agua hacia un lateral, haciendo que esta discurra en zigzag. Para verterla al bancal inferior se suele utilizar un punto reforzado o los taludes de acceso de la maquinaria para pasar de un bancal a otro, fáciles de labrar en el caso de que se produzcan *rills* y pequeñas cárcavas (ver Anexo II-7).



Figura 4.12: Detalle de talud reforzado con bloques de yesos en un bancal con desagüe frontal. .
Fuente: Autor.

4.3.2.3. Degradación

En conjunto se trata de un tipo de sistemas poco degradado. Parece ser que la clave puede estar en la escasa torrencialidad del clima, claramente inferior a 100mm/h (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007) (la menor de todos los sectores analizados). Este factor, unido a un diseño acertado, en el que se consigue que poca agua vierta de un bancal a otro, y sólo en ocasiones excepcionales, hace que apenas se observen elementos de rotura. Todavía menos, se observan cadenas de roturas que indiquen que las situaciones excepcionales son capaces de conectar y rehacer la red fluvial. Cuando esto ocurre, se utiliza como refuerzo el material local más duro, que es el yeso.

El escaso uso ganadero actual de las laderas (sólo hay un corral activo en toda la cuenca), también propicia una escasa degradación de éstas, y un menor aporte de agua potencialmente peligrosa.

La principal transformación que ha tenido el cultivo de la cuenca ha sido el abandono de las pequeñas parcelas triangulares anexas a los valles principales, al pie de los cauces de orden 1. Dada la escasa entidad de estas parcelas (motivo de su abandono casi sistemático), pensamos que el incremento de aporte de agua a la cabecera de los sistemas (primeros bancales) es mínima, y no supone un aumento significativo del riesgo de erosión.

4.4. CULTIVOS EN FONDO DE VALLE EN ALBÁNCHÉZ (ALMERÍA)

Albánchez es una localidad del interior almeriense, de la comarca del Medio Almanzora. Está situada en la cara N de la Sierra de Filabres, a mitad de camino entre la sierra y el eje fluvial del Río Almanzora. Es la principal localidad ribereña del río Albánchez, que toma su nombre de ella.

El río Albánchez es uno de los principales sistemas fluviales de la parte N de Filabres (río de las Herrerías, río Bacares, río de los Molinos, río de Sierro...). Arranca del eje de la sierra, en su parte más baja, la oriental). Su mitad de cabecera se ubica en los materiales duros del complejo Nevado-Filábride, mientras que su parte baja está ya en la cuenca neógena de Almanzora. La transición se produce justo a la altura de la localidad de Albánchez.

La cuenca estudiada es la de una pequeña rambla afluente al río por su margen izquierda, la Rambla de Palmera. Está situada casi en su totalidad en la cuenca neógena del Almanzora, salvo un pequeño afloramiento en cabecera. Su extensión total es de 2'67 km², y su cauce salva un desnivel de 293 m, entre 696 m de altura del punto más alto y 403 m de altura en el punto más bajo, que es el de confluencia con el río Albánchez. Su superficie se reparte entre los términos municipales de Albánchez (sector S, el principal) y Cantoria (sector N). Los fondos de valle de este pequeño sistema fluvial se dedican al cultivo de olivo y algarrobo, en parte en bancales y también en el mismo lecho y márgenes del barranco.

4.4.1. Contexto ambiental

4.4.1.1. Geología y relieve

A- CONTEXTO GEOLÓGICO

En las cordilleras béticas se distinguen dos etapas sedimentarias neógenas, una sinorogénica, durante el Mioceno Inferior y medio y otra postorogénica, desde el Mioceno superior al Cuaternario. Durante la primera etapa, en un contexto de compresión alpina entre la placa ibérica y la africana, ya se establecen las grandes líneas estructurales y se forman cuencas intracadena. Durante la segunda etapa, continúan los esfuerzos compresivos, se pasa de ambientes sedimentarios marinos

a continentales, con altibajos debidos a los movimientos eustáticos, y se desarrollan las Cuencas Postorogénicas. Éstas están localizadas tanto en las zonas Internas de la cadena (como ocurre en Albánchez), como en las Zonas Externas o en la zona de contacto entre ellas (Vera, 2000, p.347).

Las cuencas neógenas postorogénicas de Almería pertenecen todas ellas a las Zonas Internas, y están articuladas en torno a las sierras de dos complejos béticos internos, el Alpujárride y el Nevado-Filábride. Las principales de estas cuencas son las de Níjar-Almería y Dalias, al sur de Gádor-Alhamilla, y la cuenca de Sorbas, entre la Sierra de Alhamilla y la de Filabres, así como la de Vera, entre Filabres y Cabrera. Finalmente, entre la Sierra de Filabres y la de Las Estancias está el eje de cuencas más septentrional, formado por el corredor del Almanzora y la cuenca de Huércal-Overa, que continúa en Murcia con la fosa tectónica del Guadalentín (fig. 4.13).

La cuenca de Huercal-Overa está subdividida en dos subcuencas sinformes por un pequeño eje antiforme (fig. 4.13). El río Almanzora no sigue el eje estructural, sino que pasa de la subcuenca N a la S, y luego a la cuenca de Vera, entre las últimas estribaciones de los Filabres y la Sierra de Almagro. El río Albánchez, por su parte, en su tramo final, sí que se adapta a este contexto estructural, pues se ubica en la subcuenca Sur, entre la Sierra de Filabres y el río Almanzora.

La Sierra de Filabres, junto con Sierra Nevada, forma parte del eje central del Sistema Bético interno, y presenta los materiales más antiguos (precámbricos, cámbricos y permotriásicos) y más elevados. Está flanqueada por las sierras que presentan materiales del complejo Alpujárride (Estancias y Gádor) o por sierras mixtas, con un núcleo nevado-filábride y una periferia alpujárride (Alhamilla y Cabrera) (fig. 4.14). Los materiales del Complejo Alpujárride son más modernos, principalmente del Triásico, y también pueden verse como una orla al N de la Sierra de Filabres. Pero en el tramo de la cuenca del río Albánchez, en general no están presentes, y se pasa de los materiales nevado-filábrides a los del Neógeno casi sin solución de continuidad. Esto condiciona la composición de las unidades de conglomerados de la cuenca neógena.

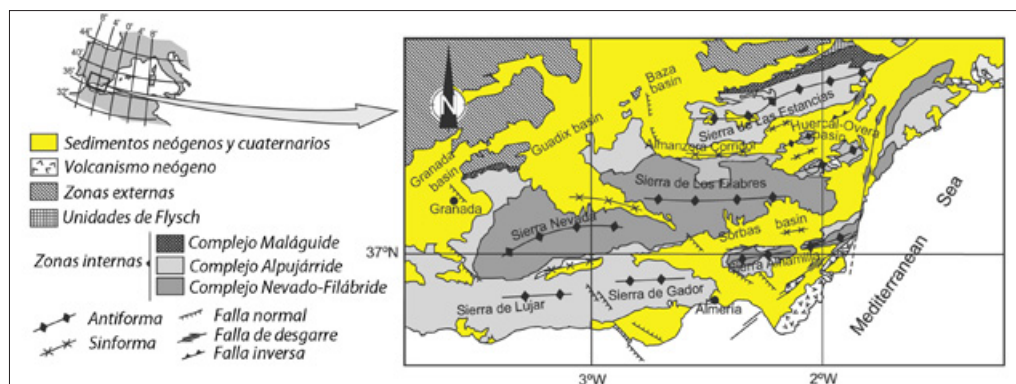


Figura 4.13: Mapa geológico de la Cordillera Bética centro-oriental, que muestra los diferentes dominios y los principales pliegues y fallas desarrollados desde el Tortonense.

Fuente: Pedrera *et al.* (2007, p.2).

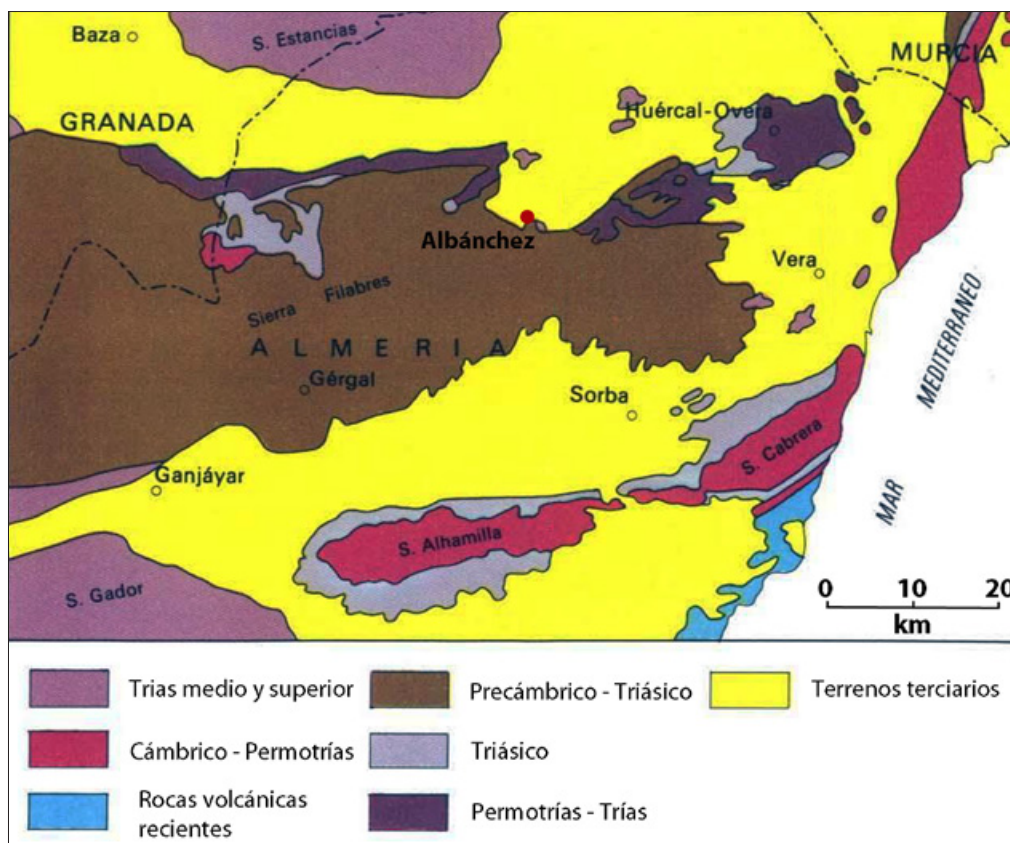


Figura 4.14: Esquema geológico regional en la zona de estudio de Albánchez (Almería).

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGME (1975a).

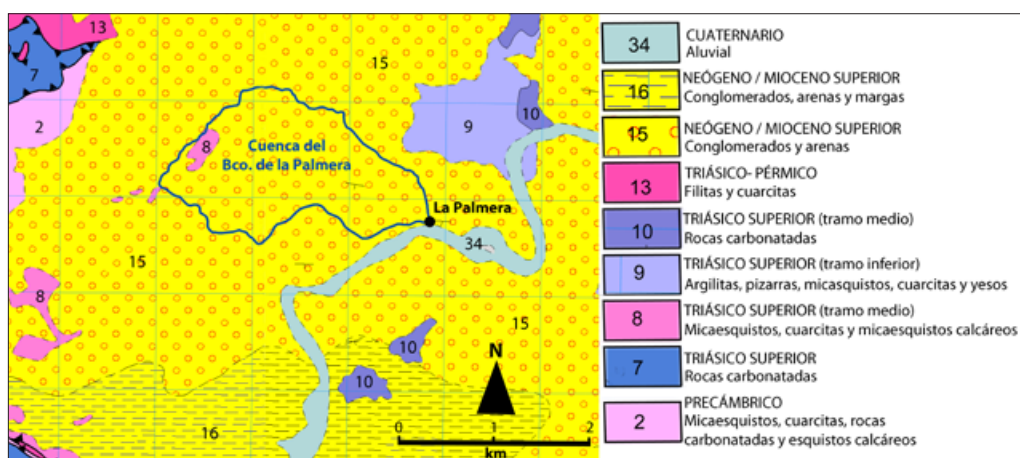


Figura 4.15: Contexto geológico de la cuenca del Bco. de la Palmera, entre Albánchez y Cantoria (Almería).

Fuente: Elaboración propia, a partir del IGME (1975a) e IGME (1975b).

Estos sedimentos neógenos pertenecen a los pisos superiores del Mioceno, Tortonense y Andaluciense, ambos en facies marinas. Los depósitos más abundantes son los conglomerados, formados casi exclusivamente por materiales nevado-filábrides (IGME, 1975a y 1975b), pero también pueden aflorar areniscas, margas y, localmente, algún nivel de calizas. La serie puede presentar potencias superiores a 400m.

Estos conglomerados, de cantos gruesos y heterométricos, presentan una matriz arenosa arcillosa poco consolidada, lo que debilita su dureza y facilita su disgregación y erosión.

La cuenca del Bco. de la Palmera se sitúa plenamente en la unidad más conglomerática de las dos presentes en la zona, es decir la compuesta por detríticos más gruesos. Solo en cabecera aparece un pequeño afloramiento de rocas metamórficas nevado-filábrides del Trías superior (micasquistos, cuarcitas y micasquistos calcáreos) (fig. 4.15).

B- RELIEVE Y GEOMORFOLOGÍA

En el sector de estudio el principal y casi exclusivo elemento del modelado son las laderas. No aparecen otros elementos característicos de las cuencas neógenas más arcillosas, como glaciares o *badlands*, por el tipo de roquedo aflorante: rocas metamórficas en la sierra y conglomerados en la depresión neógena. El relieve presenta todavía elevadas pendientes medias, fruto de dinámicas erosivas y de vaciado que continúan en la actualidad. Los elementos del relieve más elevados siguen siendo las estructuras orogénicas originales (Sierra de Filabres), y los desniveles y pendientes generales siguen siendo todavía elevados: se trata de sierras alpinas de reciente formación, producto de una tectónica muy intensa.

El paso de condiciones marinas a continentales tampoco ha generado un aplanamiento del relieve, sino todo lo contrario. Este paso está controlado por tres factores: 1) al principio de la etapa de cuencas postorogénicas ha continuado la compresión; 2) la crisis mesiniense y 3) el *rifting* europeo, proceso distensivo final que ocasiona el vulcanismo del cabo de Gata. Todos ellos contribuyen a la incisión de la red fluvial, a intensificar la erosión y, en definitiva, a acentuar los desniveles.

4.4.1.2. Clima

El clima de Albánchez, una estepa fría intramediterránea, pertenece claramente a la morfología BSk de Köppen. Sin embargo, esta modalidad no está relacionada con las estepas frías continentales, sino con las estepas “de norte de desierto”, o clima “sirio” de Viers (1968). La característica esencial de estas estepas, tanto las intramediterráneas como las “sirias” es que en ellas predominan las lluvias invernales. Las diferencias estriban en que, en general, las estepas intramediterráneas son algo menos secas y sus temperaturas medias algo más bajas. En Túnez, por ejemplo, coexisten las dos morfologías de Köppen, BSk en el interior y BSh en la costa (ver fig. 1.13). En España,

la temperatura media de estos climas (ver fig. 1.4) suele ser inferior a 18°C de media anual, por lo que se las considera estepas frías, incluso en la provincia de Almería. Sólo la estricta costa almeriense y del S de Murcia presentan la modalidad de estepa cálida. Cualquier localización algo interior, acompañada de cierta altura, conllevan unas temperaturas por debajo de 18°C. Albánchez, por ejemplo, a unos 500m, registra una temperatura media anual de 16'5°C.

La aridez de estas estepas del SE de la Península Ibérica en cierto modo es parecida a la del resto de estepas peninsulares, en el sentido de que tiene unas causas básicas de tipo orográfico. No obstante, el efecto orográfico, en el caso de Almería, opera de modo algo diferente, pues sólo se produce para las advecciones de componente W: las masas polares “de retorno” que provocan máximos pluviométricos en Andalucía occidental (Grazalema) son interceptadas por las altas montañas del Sistema Penibético, y sólo dejan cantidades apreciables en las altas montañas almerienses; los frentes y masas polares procedentes del N y NW son interceptadas por otras sierras béticas, como Segura y Cazorla. Las masas mediterráneas de componente NE también son interceptadas, en su caso por las sierras noralicantinas y sudvalencianas (Benicadell, Aitana, Bernia...).

La diferencia entre estas estepas del SE peninsular y las del resto de la Península Ibérica reside en dos características: su localización litoral y la mayor intensidad de la aridez. El primer rasgo se debe a que, a diferencia del resto del litoral mediterráneo, desde el S de las estribaciones béticas del N de Alicante hasta Almería, las advecciones de componente E tienen un recorrido marítimo muy corto (SE) y suelen ser masas tropicales continentales muy secas en origen que apenas pueden recargarse de humedad en la base. Este rasgo alcanza su máxima intensidad en el litoral SE de Almería, en donde se registran menos de 200 mm medios anuales de precipitación. El segundo rasgo, la mayor intensidad de la aridez, es debido fundamentalmente a que las temperaturas medias anuales son más elevadas (por efecto de la latitud). Así, por ejemplo, en Albánchez se registran sólo 40mm menos que en Valmadrid, pero, al ser su régimen térmico más exigente (16'5°C frente a 13'9°C, para una misma altitud), la sequedad estival es más intensa, la evapotranspiración potencial es más elevada, y en consecuencia la aridez es mayor.

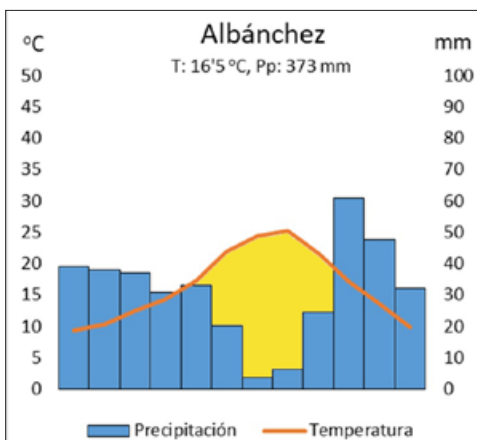


Figura 4.16: Diagrama ombrotérmico de Gausen de la localidad de Albánchez.

Fuente: Elaboración propia, a partir de los datos de la Red de Información Ambiental de Andalucía, Visor del Subsistema CLIMA, Conserjería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

A pesar de que la dinámica atmosférica no es propicia para la precipitación, y que las trayectorias marítimas de las masas de aire procedentes del Mediterráneo tienen un escaso recorrido, este sector participa de la característica de precipitación otoñal intensa presente en toda la orla norte del Mediterráneo oriental. Este rasgo se observa en que el mes con mayor precipitación media es octubre, y en que la estación con mayor cantidad de precipitación es otoño (ver fig. 4.16). Está generado casi exclusivamente por la eficiencia pluviométrica de las situaciones atmosféricas con DANA's.

Martín Vide (1987) señala esta característica propia de todo el litoral mediterráneo español, a través de la intensidad diaria de la precipitación. En el sector de Almería, los valores se sitúan alrededor de 50-60 mm/día con periodos de retorno de 10 años; el número medio anual de días con más de 30 y 50 mm es respectivamente de 1'1 y 0,3 (Martín Vide, 1987, p.99). En esta zona, el número de días con lluvia es muy escaso, pero las precipitaciones máximas en 24h generadas por las DANA's pueden llegar a ser elevadas. En el SE español, este tipo de situaciones han sido profusamente estudiadas (Olcina y Rico, 2000, p.73), sobre todo porque son las situaciones que generan las grandes riadas (*vgr.* López Gómez, 1983; Gil Olcina, 1983, Capel Molina, 1987a). En la cuenca del Almanzora se ha destacado el episodio extraordinario de octubre de 1973, con registros hasta 600 mm/día (Capel Molina, 1987b, p.40).

4.4.2. Descripción del sistema

4.4.2.1. Cuenca y red fluvial

La cuenca del Bco. de la Palmera es un pequeño barranco con una extensión de 2'8 km² de superficie total, afluente del río Albánchez, curso que vierte sus aguas directamente al Almanzora por su margen derecha. El cauce principal llega a ser de orden 5, según el criterio de jerarquización de Strahler. No es fruto de la confluencia de los dos grandes barrancos de cabecera, sino de que, justo antes de afluir al río Albánchez, recibe otro gran barranco de orden 4. Este hecho es debido a que el barranco más grande de los dos de cabecera solo alcanza ser de orden 3: es un largo y sinuoso colector de cauces de pequeño orden (fig.4.17).

La cuenca es alargada, con un eje mayor de 2'8 km y una razón de elongación (según Schumm, 1956) de 0'66 (tabla 4.5). El desnivel máximo es de 293 m, lo que implica pendientes bastante acusadas para una cuenca tan pequeña (104m/km de desnivel medio en el eje principal). La densidad de drenaje (11'7 km de cauce por cada km² de cuenca) indica que ésta presenta cierta rugosidad del relieve. También aquí, como en Valmadrid, la rugosidad está acentuada por el hecho de que la red principal está muy encajada, pero al tratarse de unas litologías más duras (conglomerados), los valores de densidad de drenaje son algo más bajos.

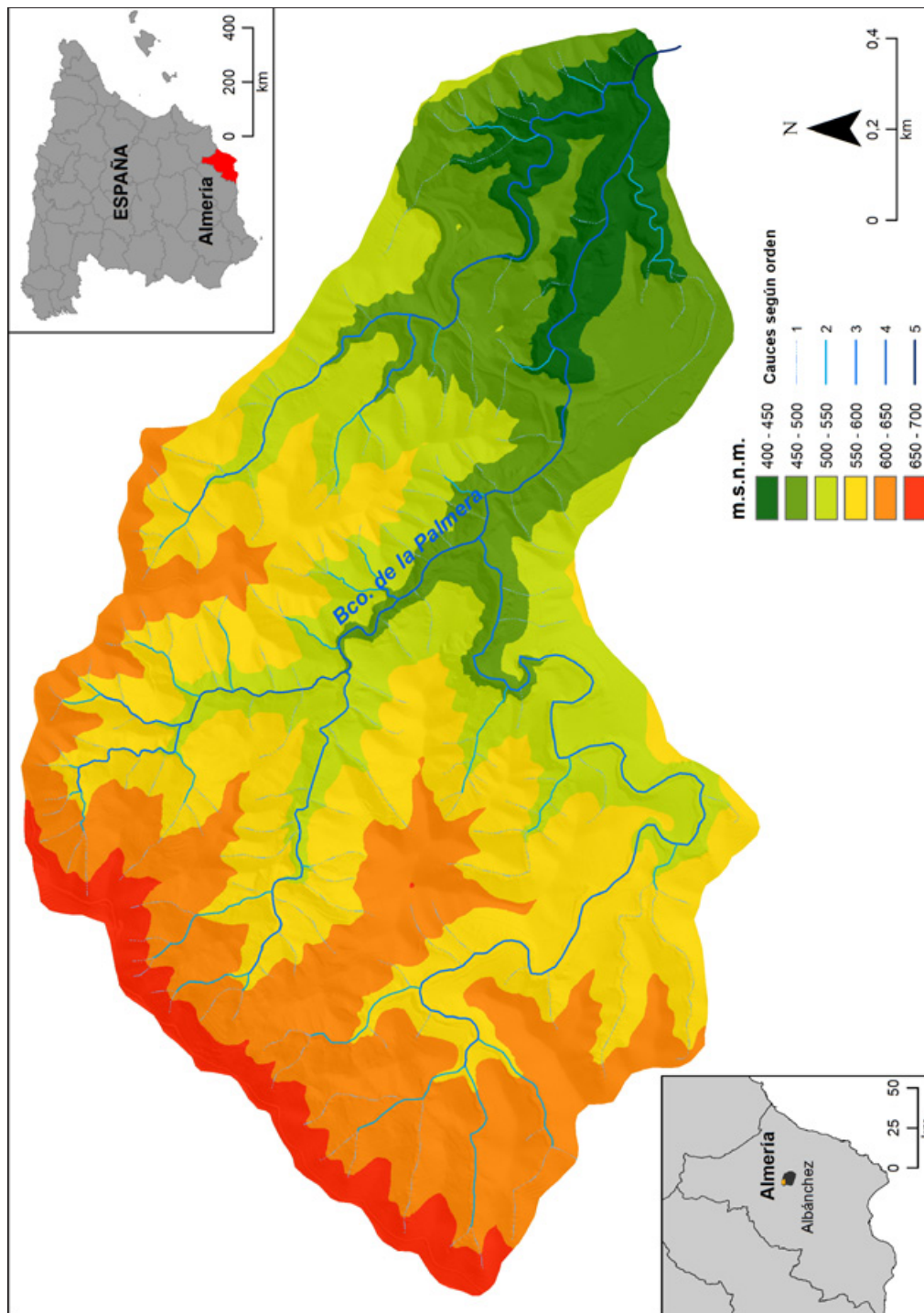


Figura 4.17: Localización y red hidrográfica de la cuenca del Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5: Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).

Albánchez					
Superficie (A)	km ²	2'67	Amplitud (W)=(A/Lb)	km/km ²	0'58
Perímetro (P)	km	7'67	Razón de elongación (Re) (Lw/D)	km/km	0'66
Diámetro del círculo asociado (D)	km	1'84	Punto más alto (hmax)	m	696
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	31'27	Punto más bajo (hmin)	m	403
Longitud del cauce principal (Lb)	km	4'59	Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	293
Eje mayor (Lw)	km	2'81	Pendiente media del cauce principal (dn/Lb)/10	%	6'38
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	11'70	Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	104'12

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2. Los cultivos

A- USOS DEL SUELO

Los cultivos de la cuenca están dedicados al olivo y al almendro. Excepcionalmente puede observarse algún algarrobo. En la figura 4.18 puede observarse que coexiste el cultivo de fondo de valle estricto con el de otros ámbitos geomórficos, en especial las terrazas fluviales altas del barranco, compuestas por aluviones encostrados en el techo. En general, el cultivo tradicional de fondo de valle es el olivar, mientras que las terrazas y algunos valles planos se dedican a nuevos cultivos de almendros y a alguna plantación reciente de olivos.

La distribución espacial de estos cultivos es discontinua, salvo en el tramo superior de los tres barrancos más importantes (sobre todo el del N) (fig. 4.18). Las interrupciones son debidas al profundo encajamiento de la red fluvial, que da lugar a valles muy estrechos. A esto se une el hecho de que la torrencialidad de la zona, el relativo carácter impermeable de las litologías (sobre todo por los cantos de rocas metamórficas que componen los conglomerados), y las elevadas pendientes, ocasionan que las avenidas de los cauces principales sean suficientemente agresivas como para impedir el mantenimiento de bancales. En los tramos bajos de los cauces aparece el olivar en los márgenes del lecho, quizá los restos de antiguos bancales desaparecidos, pero en la actualidad alimentado por las aguas subálveas de los barrancos.

El porcentaje de superficie cultivada casi alcanza una cuarta parte de la superficie total (22'3%) (tabla 4.6), pero el cultivo de fondo de valle solo ocupa el 12'3. El 10% restante es el espacio de la cuenca dedicado a otros cultivos. El motivo principal de este escaso valor es que los valles, en pronunciada V, tienen unos fondos muy estrechos y casi imposibles de ampliar por zapa lateral durante el laboreo por la dureza de los conglomerados (fig. 4.19). A diferencia del sector de Valmadrid, aquí no puede ajustarse el tamaño de la superficie de cultivo al *input* hídrico.

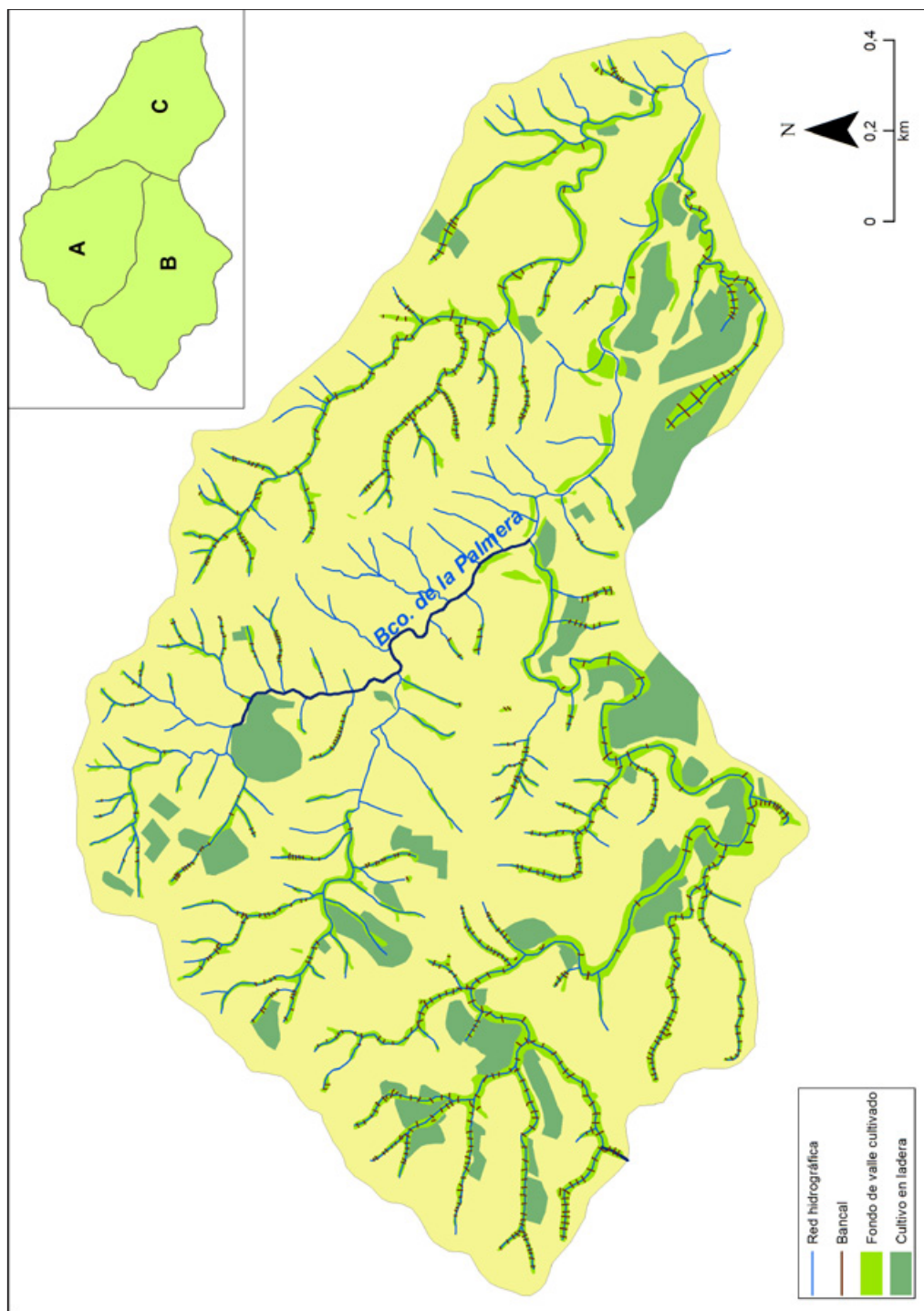


Figura 4.18: Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6: Superficie cultivada en la cuenca del Barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).

Albánchez		
Superficie de la cuenca	km ²	2'67
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'33
Cultivo fuera del fondo de valle	km ²	0'26
Superficie no cultivada	km ²	2'08
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	12'3
% Cultivo fuera del fondo de valle	%	9'8
% Superficie no cultivada	%	77'9

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.19: Sistemas de cultivo de fondo de valle en el Bco. del Acebuchar (Cantoria, Almería), al norte de la cuenca del Bco. de la Palmera, con el mismo tipo de paisaje agrario.

Fuente: Autor.

B- ESTRUCTURA ESPACIAL

En este tipo de paisaje de olivar en fondo de valle, el sistema empieza ya en los cauces de orden 1 de Strahler. Como se puede observar en la figura 4.18, más de la mitad de este tipo de cauces están cultivados casi desde el inicio. Muchos de los que no lo están lo es por razones geomorfológicas (sectores de laderas abarrancadas con pendientes muy fuertes y especialmente inaccesibles). Simplemente no compensa ocuparlos.

La superficie mínima necesaria para que comiencen a aparecer cultivos de fondo de valle es muy pequeña: poco más de media hectárea de superficie vertiente (0'67 ha, fig. 4.20.A). Este hecho es consecuente con los rasgos de elevada torrencialidad y baja permeabilidad del terreno, y también con que los bancales, en especial los primeros, son muy pequeños y necesitan escaso volumen de aporte hídrico. Es más, en la cabecera de los sistemas es donde se aprecia el mayor número de casos de bancales con más largo tiempo de abandono, ya casi desaparecidos. Ello significa que, en el diseño inicial, el labrador entendía que todavía era necesaria una menor cuenca inicial de aporte.

Las rectas de regresión de la relación entre la extensión de la superficie vertiente y la extensión del cultivo en fondo de valle tienen unos buenos ajustes lineales, aunque menores que los de Valmadrid. La diferencia fundamental estriba en que la pendiente de la recta elaborada con la totalidad de las 30 cuencas (ver metodología en 4.1) es muy elevada, por el peso de puntos del final de la cuenca, en los que el incremento de la superficie vertiente no se corresponde con un aumento de la superficie cultivada en fondo de valle. Esto eleva la posición de los puntos de cuencas más grandes, aumenta la pendiente de la recta y ocasiona el absurdo de cuencas vertientes negativas para que comiencen los cultivos de fondo de valle. Es decir, en este tipo de sistemas lo que ocurre es que, a partir de un cierto tamaño de cuenca, el incremento de ésta no incrementa en igual proporción la tierra cultivada, debido a que la escorrentía acumulada llega a ser ingobernable. En Valmadrid, al contrario, en las partes bajas de la cuenca, un incremento de la superficie vertiente redundaría en un incremento todavía mayor de la superficie cultivada, porque los bancales pueden ser más grandes y la escorrentía acumulada no ocasiona problemas.

Las diferencias espaciales entre los distintos sectores de la cuenca del Bco. de la Palmera están condicionadas por las características de los tres barrancos afluentes principales. Desde el punto de vista de las características de los bancales (longitud y superficie media) y del porcentaje de superficie cultivada (tabla 4.7), el sector más dispar es el A, pues solo tiene bancales en cabecera (fig. 4.18) y son pequeños. Su superficie cultivada es también muy escasa, aproximadamente la mitad que otros sectores de la cuenca. El sector C tiene unas características similares al B, pues ambos están condicionados por dos grandes barrancos comparables. Dentro de este sector, el peso de las características del tramo final del cauce principal es muy pequeño. Se trata pues, de una cuenca de características homogéneas en los litológico, climático y geomorfológico, pero con una red fluvial poco estructurada, lo que condiciona que los contrastes de produzcan más entre las distintas subcuencas que entre cabecera y parte baja.

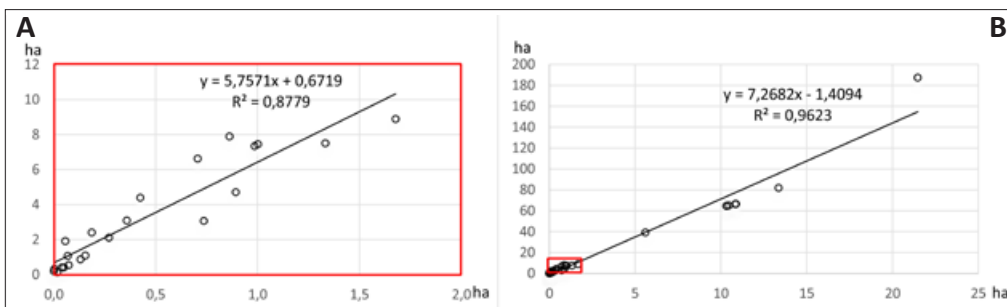


Figura 4.20: Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería): A) Subcuencas con superficie inferior a la media y B) las 30 subcuencas.

Fuente: Elaboración propia.

C- BANCALES

En la cuenca del Bco. de la Palmera el número de bancales es muy numeroso. Si comparamos con la cuenca de la Val de Huerva (4'92 km², 475 bancales), esta cuenca de reducidas dimensiones (2'67 km²) tiene una mayor cantidad (701), a pesar de que la superficie cultivada presenta discontinuidades espaciales.

Las características de los bancales guardan relación con estos datos, pues son de pequeña o muy pequeña dimensión (entre 7 y 11m de longitud media, según sectores, y entre 400 y 600 m² de extensión aproximada).

Este elevado número de bancales de reducidas dimensiones obedece a dos factores, esencialmente: a- las elevadas pendientes de los cauces, sobre todo en cabecera, obligan a aumentar su frecuencia, para que no sean demasiado altos, ni demasiado largos con escasa ganancia de superficie y b- los valles son, en general, muy estrechos y, cuando en las partes bajas de la cuenca pueden ser más amplios, la abundante escorrentía generada no permite que puedan establecerse.

Las paredes de los bancales suelen ser de piedra, pues casi siempre está disponible. Se utilizan los bloques más grandes producidos por la erosión fluvial de los conglomerados neógenos de la cuenca (areniscas, cuarcitas, micasquistos, rocas carbonatadas... del complejo Nevado-Filábride, procedentes de la Sierra de Filabres) (fig. 4.21).

A pesar de la consistencia de las paredes, es fácil observar puntos reforzados donde se vierte el agua al bancal inferior, incluso con marmitas a pie de cascada (en fig. 4.21 obsérvese la ubicación del observador). Otra combinación que puede observarse, sobre todo en los canales ya importantes de la parte alta, es la de un reborde de tierra encima de la pared, que permite que el agua se encharque, junto a un vertedero de aguas reforzado.



Figura 4.21: Bancal de olivos con pared de piedra en cultivos de fondo de valle (Albánchez, Almería). Se observa una marmita a pie de cascada en el sector donde vierten las aguas del bancal superior (izquierda).

Fuente: Autor.

Tabla 4.7: Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del barranco de la Palmera (Albánchez, Almería) (dos cabeceras y parte baja –ver distribución espacial en Anexo II-2).

Albánchez		A	B	C	Total
Nº de bancales	n	137	363	201	701
Longitud media bancales	m	6'9	10'6	10'8	9'9
Superficie media de bancal	m ²	420	414	598	468
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	7'11	15'82	13'17	12'28

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.3. Degradación

Los signos de degradación que presentan los sistemas de esta cuenca son evidentes y abundantes. En parte son debidos al progresivo abandono actual de los cultivos, pero también al funcionamiento hidrogeomórfico de la cuenca.

El deterioro actual de los sistemas parece ser producto exclusivamente del abandono de las labores agrícolas, que se manifiesta claramente en la ausencia de podas de los olivos. En una valoración general aproximada, la mitad de los mejores campos (en fondos de valle de los cauces más grandes) está total o parcialmente abandonado, así como casi todos los de cauces poco importantes o poco accesibles de cabecera. La consecuencia inmediata de ello son las roturas de las paredes de los bancales, que llegan a aparecer, incluso en campos en uso (fig. 4.22.A). Consideramos que, en este proceso actual de deterioro, no influyen cambios de uso de las laderas (continúa el aprovechamiento ganadero) ni cambios en la torrencialidad de la lluvia.

Aparte de esta degradación actual, también se observan signos que nos llevan a pensar que los sistemas de fondo de valle de la cuenca del Bco. de la Palmera siempre han tenido un frágil equilibrio medioambiental. El principal rasgo es que se conservan olivos de gran porte en los laterales del cauce, a veces dentro de bancales sin apenas defensas que ocupan la terraza baja y a veces, incluso, en las gravas de los laterales del mismo lecho fluvial (fig. 4.22.B). Este rasgo es un indicador de lo agresivas que llegan a ser las avenidas de los tres barrancos principales, pues, o no han existido, o se han borrado los trazos de antiguos abancalamientos.

En conclusión, se trata de una cuenca con un frágil equilibrio entre las condiciones ambientales y el uso del suelo con sistemas de cultivos de fondo de valle (en principio, los más productivos), pues resulta imposible romper la conectividad del sistema, hay que hacer un gran esfuerzo para controlar el riesgo de erosión y, además, la adaptación tiene que realizarse con bancales pequeños y escasa superficie cultivada.

Ello ha llevado a una notable ocupación agrícola fuera del fondo de valle, pero justamente estos cultivos son los que presentan un mayor abandono y degradación, lo que indica que no tienen unas adecuadas condiciones hídricas y edáficas.



Figura 4.22: Detalles de degradación en el Bco. de la Palmera (Albánchez, Almería): A- Rotura de bancales. B- Sector de barranco sin bancales, con cultivos de olivo en los laterales.

Fuente: Autor.

4.5. LOS SISTEMAS DE *JESSOUR* Y *TABIAS* EN MATMATA

La Vieja Matmata (Matmata-al-Qadima) es una localidad situada en el prelitoral tunecino, al sur del Golfo de Gabes. Pertenece a la Gobernación de Gabes, de cuya capital dista algo más de 40 km (en dirección sur). Está situada a unos 37 km del litoral más cercano, la zona costera del oasis de Mareth; hacia el E, el litoral mediterráneo se encuentra algo más alejado, pero todavía cercano, a poco más de 100 km.

A pesar de esta cercanía marítima, y de la presencia cercana de las llanuras litorales, el contexto cercano es montañoso. La Nueva Matmata, situada 14km al N, está ya en el inicio de las llanuras litorales, y en dirección a Tounine (E), el arranque de las llanuras está a unos 20 km. Pero la vieja Matmata, famosa por sus viviendas trogloditas, centrada hoy en día en el turismo (fig. 4.23), está rodeada de montañas, en el extremo norte de la región natural de Dahar, a unos 400 m de altitud.

La cuenca estudiada, el Oued el Haddej, está situada al norte de la localidad y afluye al Oued el Djir justo a la altura de la localidad de Haddej. Discurre en sentido Sur-Norte, desde la misma localidad de Matmata, ubicada sobre la misma divisoria de cabecera. Es una pequeña cuenca de 47 km² de extensión, con un cauce principal de 5'51 km, en cuyos fondos de valle se cultivan palmeras y olivos con sistemas de *jessour*

y alguna boquera en su tramo final. La degradación erosiva y estado de abandono de los sistemas es alta, por la propia pobreza del recurso agrícola, las dificultades de acceso y, en buena medida, por efecto del turismo cultural de la ciudad vieja.



Figura 4.23: Uso turístico de las casas cueva en la antigua ciudad de Matmata.

Fuente: Autor.

4.5.1. Contexto ambiental

4.5.1.1. Geología y relieve

A- CONTEXTO GEOLÓGICO

Los rasgos geológicos de las montañas de Matmata están condicionados por la evolución geológica de esta extensa región del sur tunecino denominada Dahar. Toda la región, desde Gabes hasta el sur del país, tiene una extensa plataforma tabular basculada hacia el interior, y con un frente hacia las llanuras litorales. El esquema geológico general es el de materiales mesozoicos buzando hacia el W, con un frente más o menos abrupto hacia el E, producido por fallas locales de dimensión kilométrica o decakilométrica. La falla que condiciona este sector es la de Medenine, prolongación de la gran fractura de Gafsa (ver fig. 4.24).

En la cartografía regional (común a la del sector de Koutine, analizado en el siguiente apartado), se observa el efecto de esta gran estructura de hundimiento en la disposición de los afloramientos de los materiales: llega a aparecer la base permotriásica en un pequeño sector, con una disposición E-W (Dj. Tebaga – Dj. Saikra), pero, en general, la mitad occidental (plataforma de Dahar) es un dominio de materiales del Cretácico, que van desapareciendo progresivamente hacia el W, mientras que la mitad oriental (piedemonte y llanura litoral) es una zona de relleno miopliocuaternalio (fig. 4.25).

En síntesis, la historia geológica de este sector se podría resumir en las siguientes etapas:

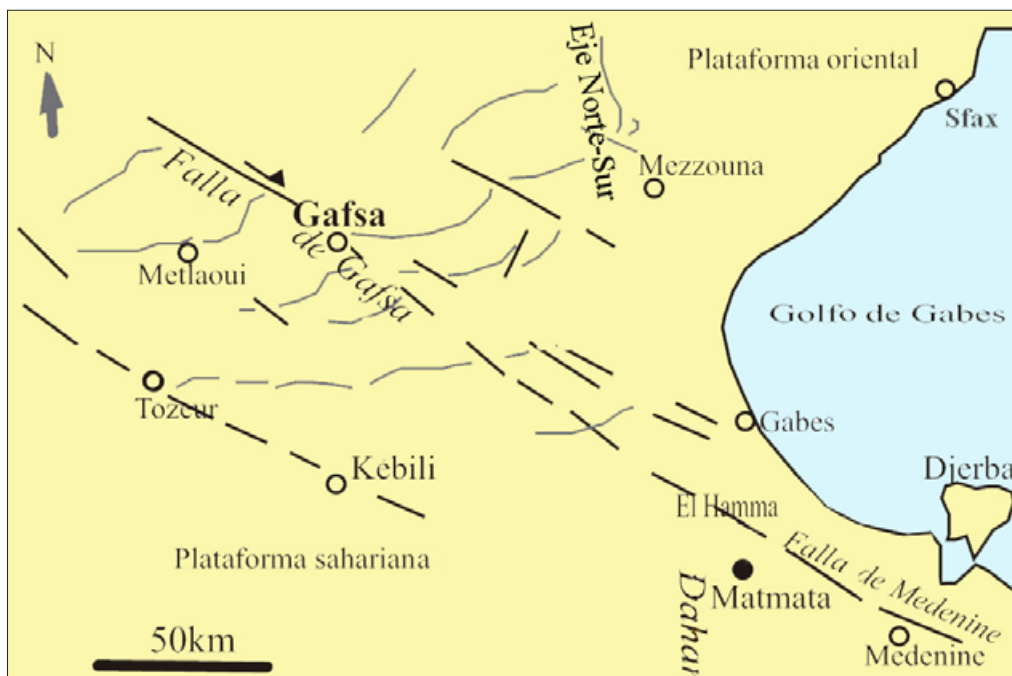


Figura 4.24: Mapa estructural del sector central de Túnez.

Fuente: Modificado, a partir de Sghari (2011, p10), tomado de Zargouni (1985).

1. Los afloramientos permotriásicos (eje Tebaga-Saikra) se corresponden con la sedimentación de la cuenca de Jeffara (Pérmico superior, según Bouaziz *et al.*, 2002, fig. 1.9). El Djebel Tebaga es un afloramiento de arrecifes coralinos de esa cuenca (Senowbari Daryan y Rigby, 1991, p.623). A finales del Triásico superior (Carniense-Rhetiense), la cuenca pérmica de Jeffara se disloca y se reduce, con la aparición al N del umbral de Tebaga (fig. 1.9).
2. Este umbral de Tebaga se mantiene como un dominio continental, en algunos sectores, hasta el Cretácico superior (fig. 1.9). Esto explica que, en la zona, aparezca una laguna sedimentaria en el Jurásico inferior y medio, que en algunos lugares se prolonga hasta el Cretácico.
3. La gran trasgresión del Cretácico superior generaliza la sedimentación marina de plataforma somera por encima de todos estos elementos. En el Cenomaniense ya no quedan restos del antiguo umbral de Tebaga, y puede seguirse toda la serie concordante del Cretácico superior hasta el Campaniense.
4. Hacia el W, los sedimentos mio-pliocenos y cuaternarios recubren estos materiales cretácicos, que van desapareciendo progresivamente, y que, a su vez, reposan discordantes sobre el zócalo de la plataforma sahariana.
5. Hacia el E, el hundimiento propiciado por las fracturas de Gafsa-Mareth-Medenine, permiten también esta sedimentación mio-pliocena y cuaternaria, pero al articularse localmente con fracturas E-W, crean pequeños umbrales topográficos de materiales mesozoicos o incluso del Pérmico (como el Djebel Tebaga).

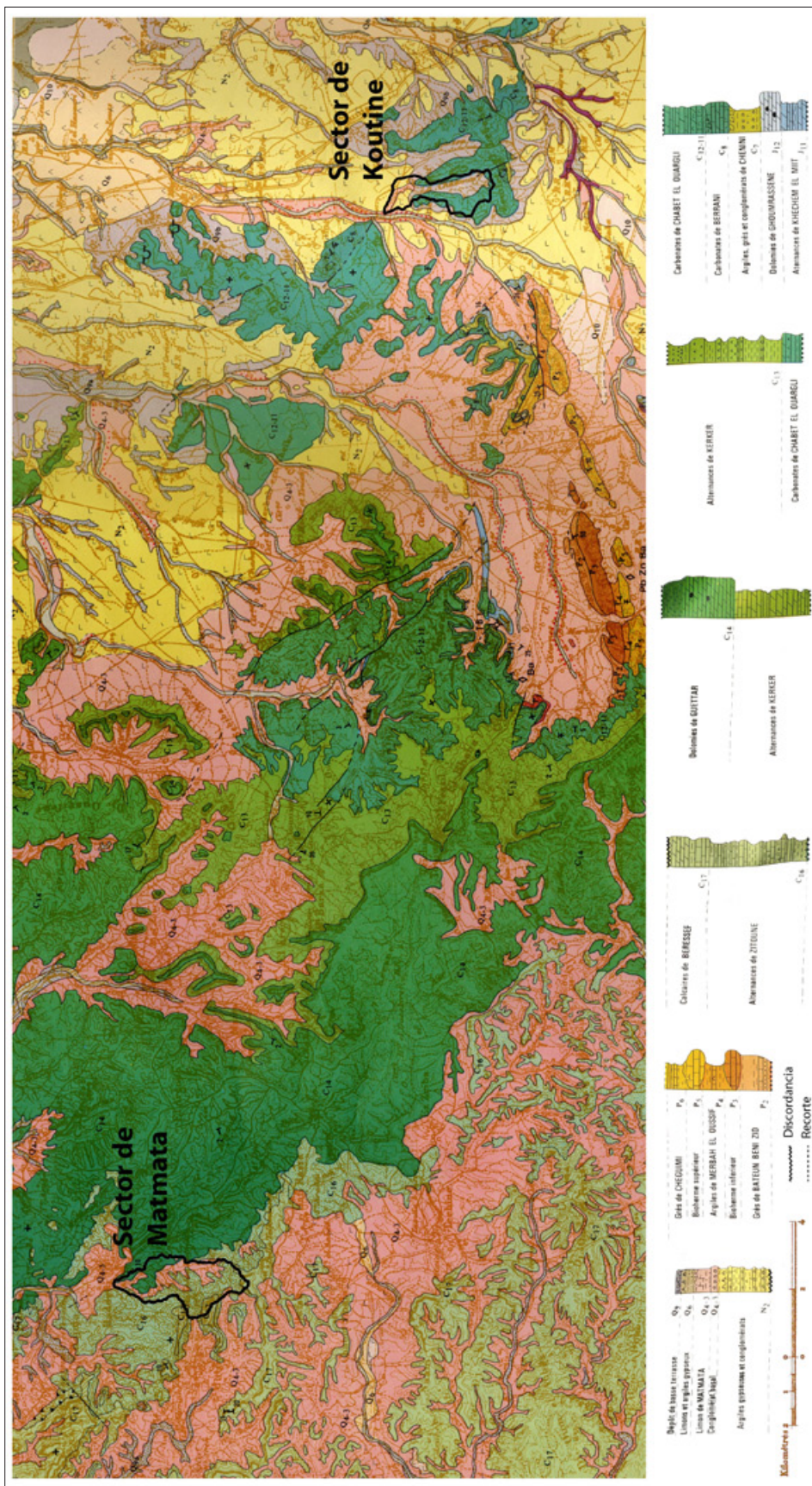


Figura 4.25: Mapa geológico general de la región entre Matmata y Koutine, con indicación de los dos sectores de cultivos en fondo de valle estudiados. Fuente: Elaboración propia, a partir de Carte Géologique de la Tunisie, Escala 1:100.000 (INRST, 1987).

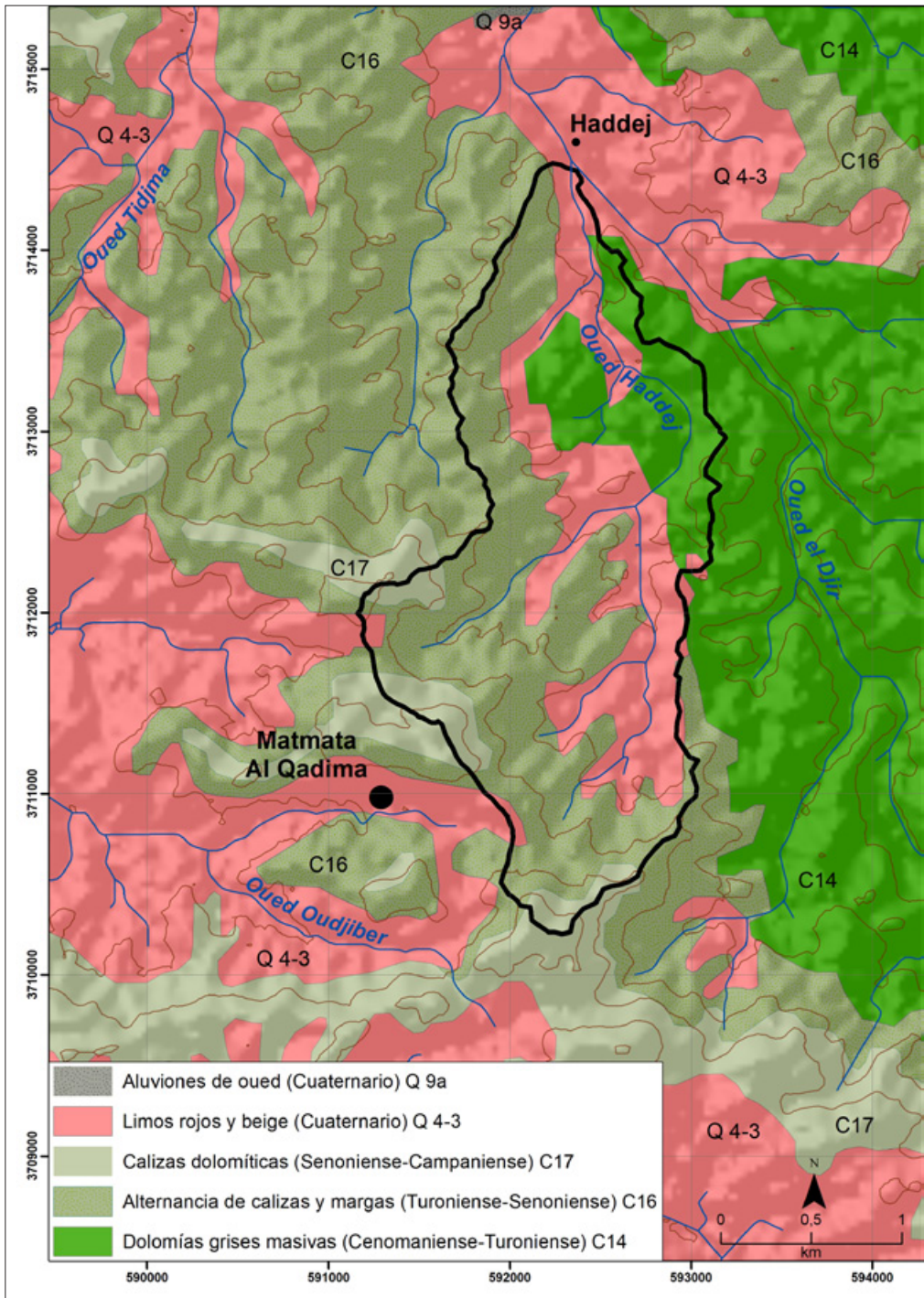


Figura 4.26: Mapa geológico de la cuenca de Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Fuente: Elaboración propia, a partir de *Carte Géologique de la Tunisie*, Escala 1:100.000 (INRS, 1987).

La zona de estudio de Matmata está situada totalmente dentro del Dahar, aunque en su borde más oriental. En este sector, los materiales que afloran (fig. 4.26) son los siguientes:

- Dolomías grises masivas con nódulos de sílex, de la base del Cretácico superior (Cenomaniense-Turoniense). Son las dolomías de la formación “El Gettar”.
- Alternancia de calizas y margas del Turoniense-Senoniense: “Alternancias de Zitoune”.
- Calizas dolomíticas beige a gris, con sílex, del tramo superior del Cretácico superior (Senoniense-Campaniense): “Calizas de Beresef”.
- Limos rojos y beige con concreciones calcáreas, del Pleistoceno: “Limos de Matmata”, de origen eólico.
- Aluviones cuaternarios de origen fluvial.

B- GEOMORFOLOGÍA Y RELIEVE

La estructura topográfica de la zona es común al de toda la región de Dahar. Las mayores alturas se concentran en el sector montañoso más cercano al litoral. Hacia el E, más allá de las fallas que hunden el litoral, se extienden los glacis y llanuras. Hacia el W, el relieve va perdiendo elevación y se hunde progresivamente hacia las llanuras y depresiones saharianas del interior (fig. 4.27).

En el sector de Matmata, y en todo el extremo N del Dahar, se cumple este esquema. Hay un eje NW-SE de elevaciones (Dj. Zegrarine, 470 m; Matmata, Barka, 525, SE de Toujane, 632 m...) situado a unos 6-8km del arranque de las llanuras litorales: Matmata al Qadima, está a 400m de altura, mientras que Nouvelle Matmata, por ejemplo, está a 132 m.

El desnivel generado por las fallas que hunden el litoral ha generado una erosión remontante de la red fluvial desde el Mioceno, que continúa en la actualidad, pero la activación de la erosión desencadenada todavía no ha tenido tiempo de dismantelar el relieve. La divisoria de aguas entre los cursos fluviales que se dirigen hacia la costa mediterránea y los que van hacia el interior todavía es fuertemente disimétrica.

Desde un punto de vista geomorfológico, el territorio es un dominio del relieve tabular y, sobre todo, monoclinal. La alternancia entre materiales duros y blandos de la serie mesozoica, con estas condiciones de vaciado erosivo, propicia la aparición de cuevas y frentes de cuesta. La morfología fluvial, por su parte, está condicionada por la aridez, por cierto carácter torrencial de las lluvias y por la facilidad erodible de los materiales blandos. En un contexto de acusadas pendientes y fuertes desniveles locales (el Oued el Haddej salva un desnivel de 312 m), esto supone un alto aporte de materiales hacia los colectores principales, lo que da lugar a amplios *ouedian*, incluso con cuencas poco extensas.

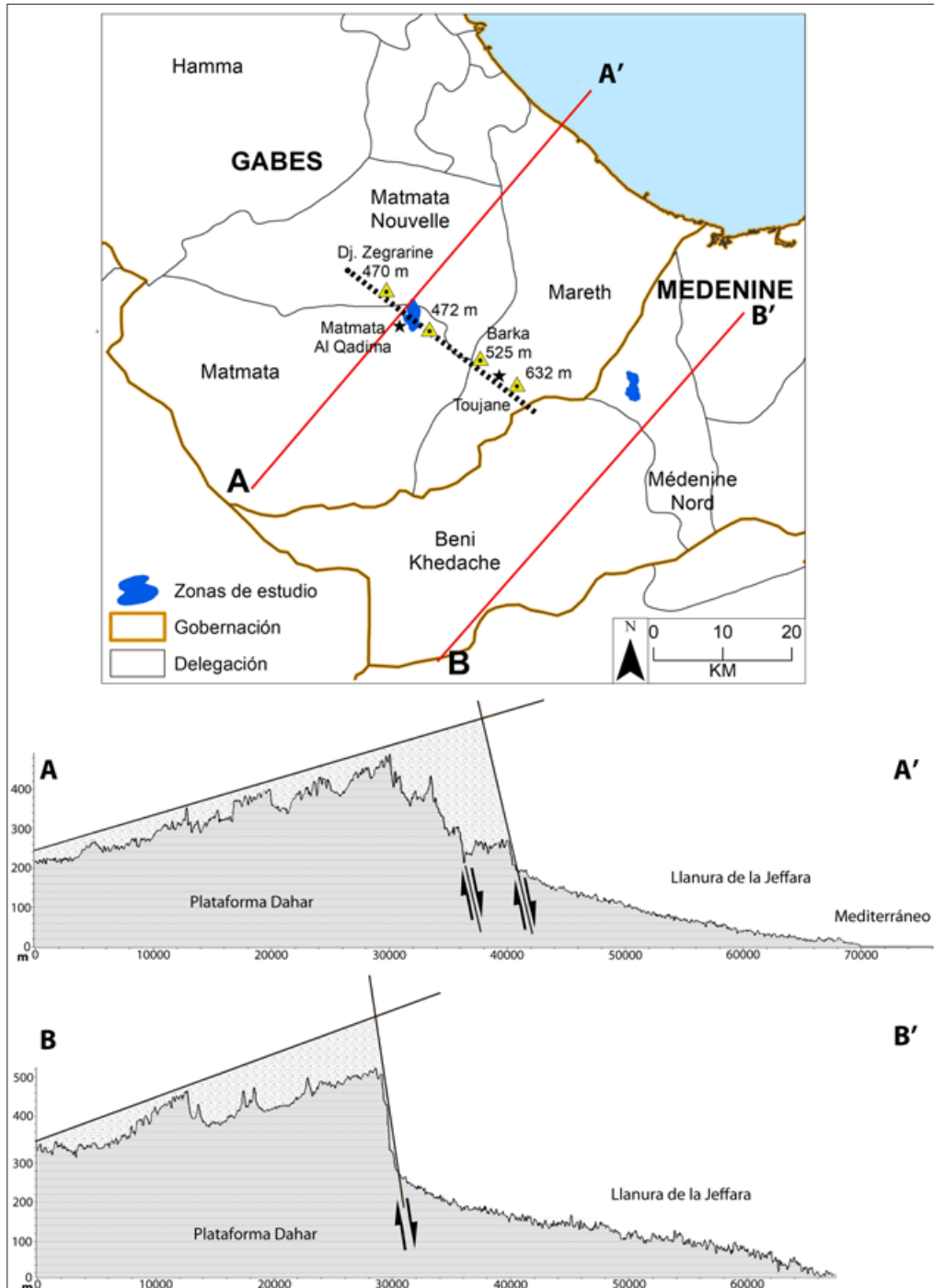


Figura 4.27: Perfiles topográficos que muestran la disimetría del relieve en el sector N de Dahar-Jeffara. El contraste se observa tanto entre la plataforma elevada de Dahar y la llanura de Jeffara, dislocadas por fallas, como en el mismo interior de la plataforma del Dahar, con vértices más elevados en su borde oriental. Se indica en el mapa la localización del eje Zegrarine-Toujane.

Fuente: Elaboración propia.

Aparte de este relieve estructural, la zona presenta abundantes restos de un paleokarst (Sghari, 2011), de edad miopliocena, con acumulaciones de *loess* en las depresiones kársticas (fig. 4.28).

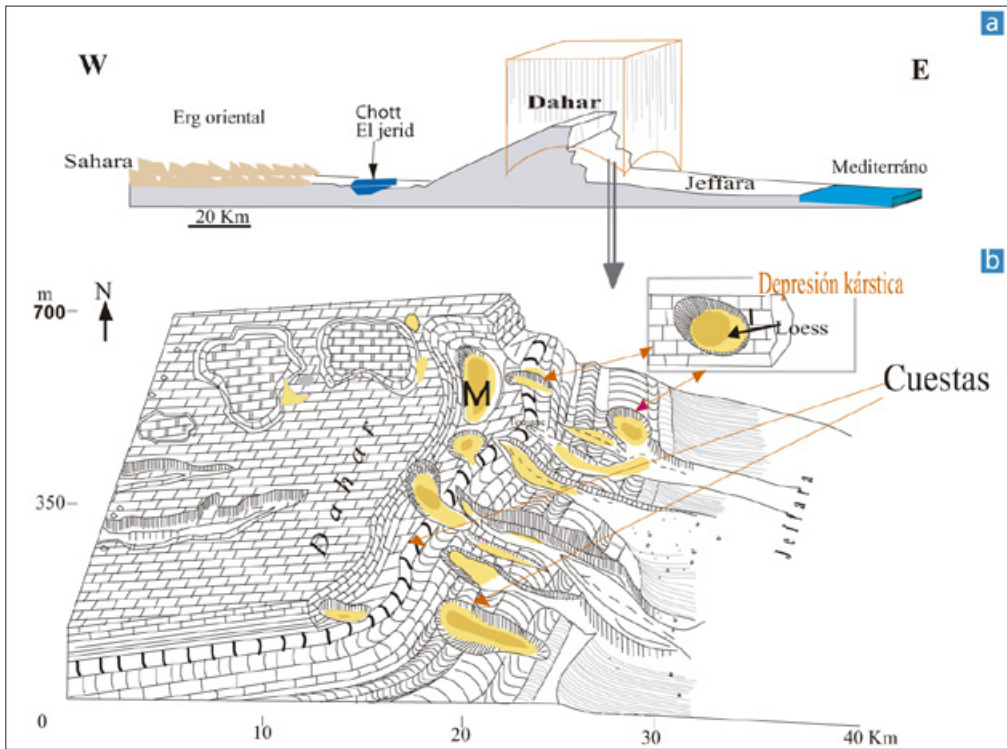


Figura 4.28: Morfología monoclinical del Dahar, afectada por un modelado cárstico de edad miopliocena. **Fuente:** Sghari (2011, p.7).

4.5.1.2. Clima

El clima de Matmata pertenece al tipo BShs de Köppen, el clima “estepario cálido de norte de desierto” (clima “sirio” de Viers), aunque muestra elementos de transición hacia el clima “desértico cálido continental”. La temperatura media anual se acerca a 19°C (18’9°C) lo que, con los criterios de clasificación de los climas áridos de Köppen en casos de lluvias de régimen mediterráneo, es decir concentradas en el semestre invernal, supone una exigencia pluviométrica de unos 190 mm. Podemos decir que Matmata, con 209 mm, está en el límite con el desierto (fig. 4.29).

Según el criterio de aridez de Gaussen, su periodo seco estacional es de 8 meses. Las lluvias medias mensuales superan el doble de la temperatura de diciembre a marzo, aunque muy ligeramente. Este rasgo también es propio de los climas esteparios.

El hecho de que las montañas de Matmata sean una “isla esteparia” en medio de condiciones desérticas obedece, en primer lugar, a que el territorio que las rodea tampoco es estrictamente desértico. En Túnez, sobre todo en el litoral y prelitoral del Golfo de Gabes, se da una transición paulatina hacia el verdadero desierto.

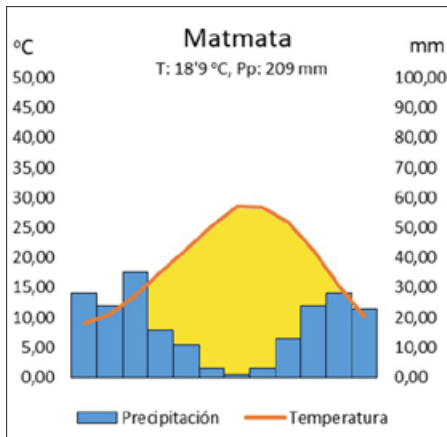


Figura 4.29: Diagrama ombrotérmico de Gausen de la localidad de Matmata.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Climate-Data.org. .

Henia (2008) distingue hasta tres tipos de estepa, la de “sombra semiárida” de transición hacia los climas mediterráneos, la de “sombra subárida”, el clima estrictamente estepario, y la de “sombra árida”, de transición hacia el clima desértico (fig. 4.30). En su cartografía climática se observa cómo, en el litoral, entre el clima mediterráneo (*vgr.* Nabeul) y el claramente desértico (*vgr.* Tataouine) median casi 400km. Mientras, en el interior, entre localidades de clima casi “mediterráneo” (*vgr.* Kasserine) y las primeras localidades “desérticas” (*vgr.* Tozeur), sólo se dista unos 150km.

El rasgo climático que explica esta dispar transición climática y la mayor extensión de los climas esteparios en el litoral es la torrencialidad de la precipitación. Este rasgo está ligado, al igual que en el SE y levante español, a situaciones atmosféricas de componente E y NE (ver fig. 4.35).

En síntesis, la combinación entre unas temperaturas ligeramente más suaves por la altitud de estas montañas, junto con el rasgo torrencial de las lluvias y el incremento orográfico de su eficiencia pluviométrica es suficiente para que este sector se escape por muy poco de las condiciones desérticas de alrededor. La misma torrencialidad del clima, a su vez, es un factor clave para el tipo de sistema agrario desarrollado allí.

4.5.2. Descripción del sistema

De la descripción de este contexto ambiental, se deduce que estamos ante un sistema muy frágil. Se combinan a) la torrencialidad de las lluvias prelitorales, b) las pendientes elevadas del frente montañoso del Dahar, y c) las litologías blandas de la formación “limos de Matmata” y de los materiales coluviales y aluviales cuaternarios de los fondos de valle. Con este contexto ambiental el riesgo de erosión es muy alto, y es muy importante un correcto diseño y un mantenimiento de las defensas contra ella.

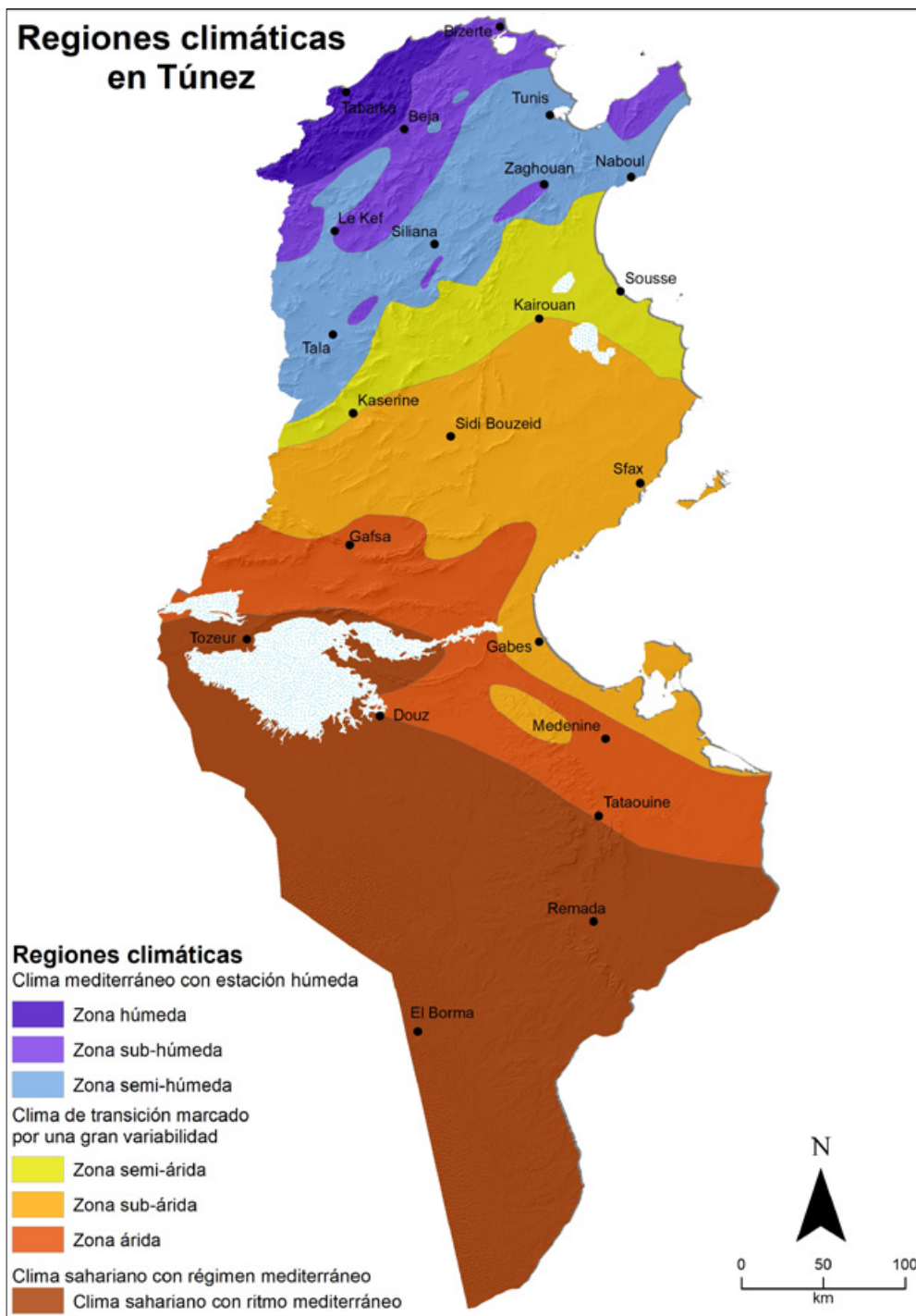


Figura 4.30: Regiones climáticas de Túnez.

Fuente: Elaboración propia a partir de Henia (2008, p.48).

4.5.2.1. Cuenca y red fluvial

La cuenca del Oued el Haddej se extiende de sur a norte entre la vieja Matmata y el Oued el Djir, que es el colector principal de todo el frente montañoso del Dahar en la zona y llega a penetrar en su interior. La cuenca tiene una extensión de 4'7 km², con un eje mayor de 4'25 km y una razón de elongación (según Schumm, 1956) de 0'58 (tabla 4.8). Su forma elongada es algo disimétrica, en el sentido de que el cauce principal circula de S a N cerca de la divisoria oriental y que todos los tributarios importantes arrancan de las montañas de la divisoria occidental.

El desnivel máximo es de 312m, con los puntos más altos en la cabecera de la cuenca. Las pendientes propician un encajamiento de la red fluvial y una densidad de drenaje bastante alta, de 13'47 km de cauce por km². Pero el relieve no es tan abrupto como el de otras cuencas analizadas, como la de Albánchez o incluso la de Valmadrid, dado que la presencia de litologías blandas ha permitido la formación de valles amplios, glaciares incipientes y un vaciado erosivo generalizado de la cuenca.

La red se organiza en torno a un colector principal que alcanza el orden 5 de Strahler a mitad de su recorrido, cuando recibe al principal tributario de su margen izquierda (fig. 4.31). El tamaño de estas dos cuencas de cabecera es muy desigual. A partir de este punto, la estructura de la cuenca sigue igual: el cauce principal recibe tributarios de escaso orden por su margen derecha y algo más importantes por la izquierda. De este modo, podemos decir que el cauce principal va incrementando su caudal paulatinamente, sin saltos bruscos. Con estas características es fácil interpretar su comportamiento hidrológico y a partir de qué punto empiezan a haber roturas de bancales, la imposibilidad de su existencia o la propia presencia de boqueras.

Tabla 4.8: Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Matmata					
Superficie (A)	km ²	4'70	Amplitud (W)=(A/Lb)	km/km ²	0'85
Perímetro (P)	km	11'26	Razón de elongación (Re) (Lw/D)	km/km	0'58
Diámetro del círculo asociado (D)	km	2'45	Punto más alto (hmax)	m	538
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	63'33	Punto más bajo (hmin)	m	226
Longitud del cauce principal (Lb)	km	5'51	Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	312
Eje mayor (Lw)	km	4'25	Pendiente media del cauce principal (dn/Lb)/10	%	5'66
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	13'47	Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	73'39

Fuente: Elaboración propia.

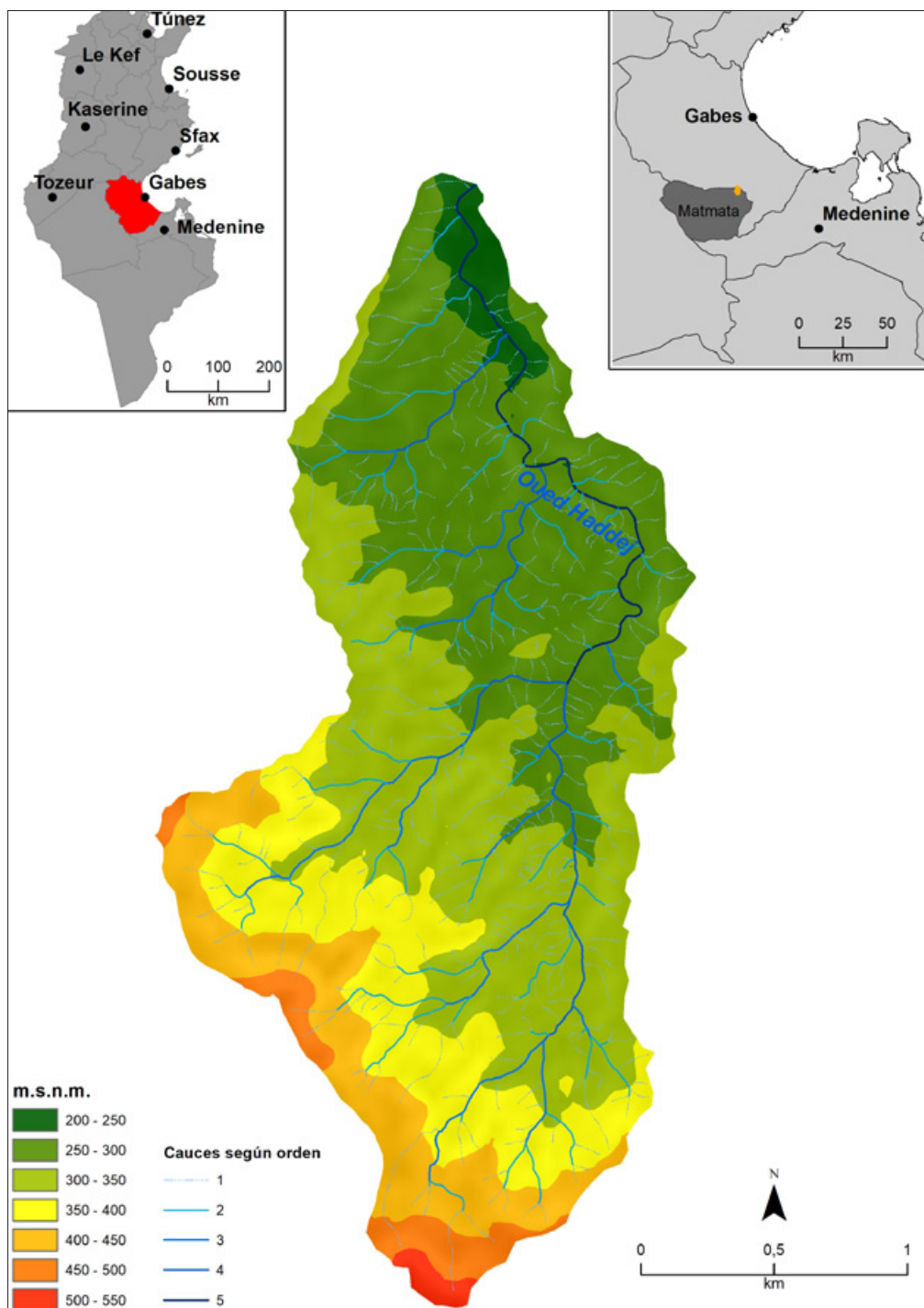


Figura 4.31: Localización y red hidrográfica de la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).
Fuente: Elaboración propia.

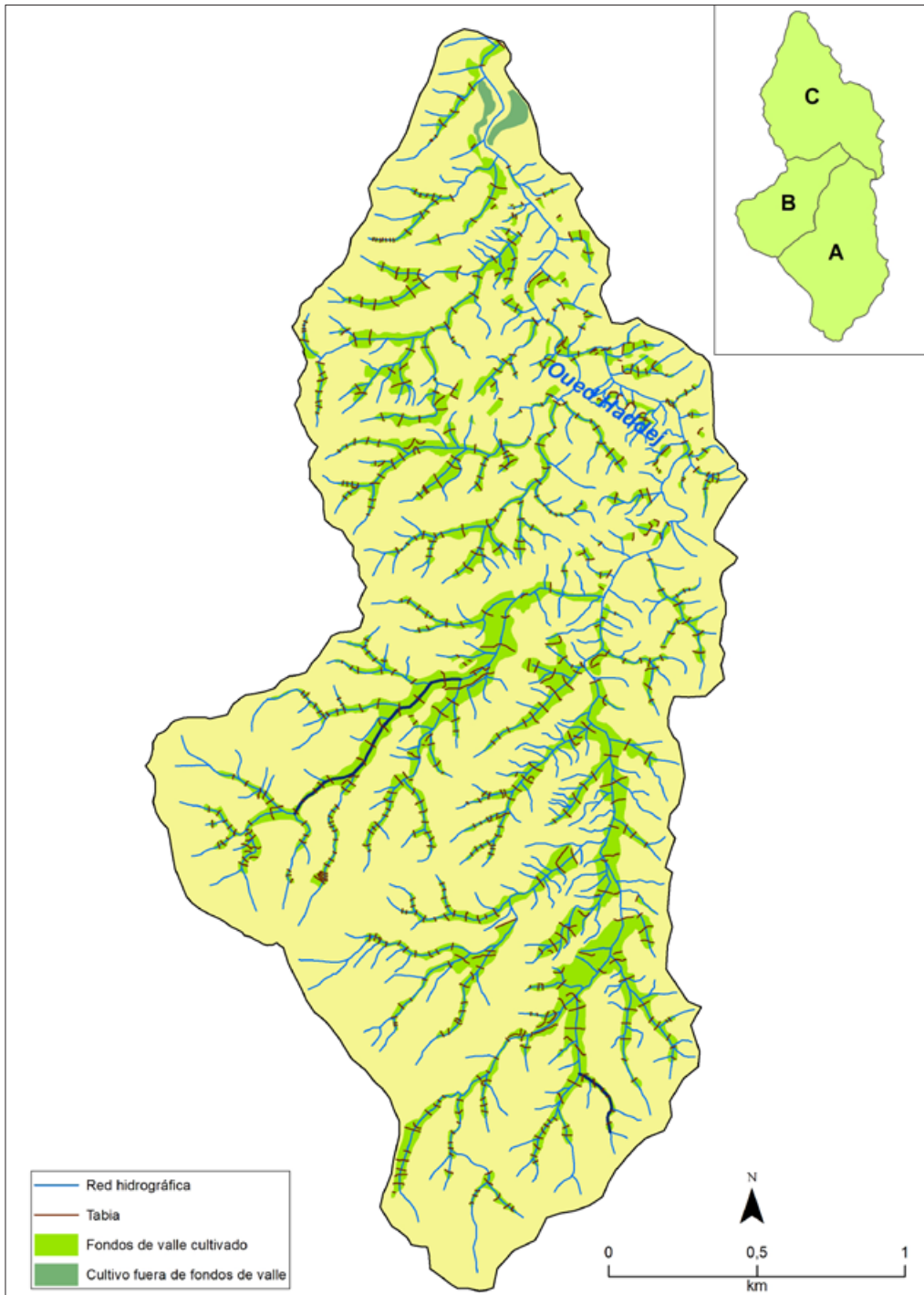


Figura 4.32: Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2. Los cultivos

A- USOS DEL SUELO

Los fondos de valle de la cuenca están dedicados al cultivo de olivos. Esta actividad agrícola se complementa ocasionalmente con otros cultivos, pero principalmente por ganadería caprina, dada la pobreza de los pastos en las laderas (ver figs. 4.33 y 4.35 A).

La distribución espacial de los cultivos es bastante continua en las cabeceras de los afluentes, tanto los de la parte alta como de la baja. Los sistemas comienzan indistintamente al inicio de cauces de orden 1, o ya con un buen tramo de recorrido como orden 2, sin que exista aparentemente ningún control, salvo el litológico (largos cauces de orden 1 o 2 en rocas calcáreas sin bancales de cultivo) o el morfológico (valles excesivamente estrechos) (fig. 4.32).

En los tramos bajos de los cauces más importantes, o en el cauce principal, por el contrario, la continuidad de los sistemas es muy escasa; incluso llega a desaparecer. Como señalaremos en el apartado 4.5.2.3), esto es un signo del funcionamiento hidrológico del sistema fluvial y del propio cultivo en fondo de valle.

El porcentaje de superficie cultivada es bastante elevado (18'5 %, tabla 4.9). Al igual que en los sistemas de Valmadrid, la totalidad de los cultivos son de fondo de valle y el porcentaje es casi idéntico, algo inferior a la quinta parte de la superficie total.

Tabla 4.9: Superficie cultivada en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Matmata		
Superficie de la cuenca	km ²	4'70
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'87
Cultivo fuera del fondo de valle	km ²	0'01
Superficie no cultivada	km ²	3'82
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	18'5
% Cultivo fuera del fondo de valle	%	0'3
% Superficie no cultivada	%	81'2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.33: Panorámica general de la cuenca de Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Fuente: Autor.

B- ESTRUCTURA ESPACIAL

Al igual que ocurre en el resto de cuencas estudiadas, los requerimientos de cuenca vertiente mínima para que comiencen los sistemas son modestos, inferiores a una hectárea (0'78 ha) (fig. 4.34). En este rasgo, la cuenca de Haddej se parece a la de Albánchez, más que a la de Valmadrid, probablemente debido al mismo carácter muy impermeable de las litologías de la cuenca (salvo en los sectores de rocas carbonatadas) y al carácter más torrencial de la precipitación. Este rasgo es el único de semejanza clara entre Matmata y Albánchez, puesto que en los restantes analizados (aparte del porcentaje de cuenca cultivada en fondo de valle y la ausencia de otros cultivos), también se asemeja más a las características de los sistemas de la Val de Huerva. La longitud de los bancales es grande (en torno a 30m de media) y la superficie media de cada bancale también (más de 1.000 m²) (tabla 4.10).

En general, el tamaño de los bancales y el porcentaje de superficie cultivada con este tipo de sistemas es mayor en las dos cuencas de cabecera (a pesar de su diferente tamaño), que en la parte baja (sector C), en contra de lo que pudiera esperarse. La razón ya se ha indicado: la acumulación de la arroyada a partir de los órdenes 4 de cauce y, sobre todo, en el cauce principal, impiden que haya bancales grandes. La parte baja de la cuenca, como puede observarse en la fig. 4.32, es una sucesión inconexa de sistemas, de escaso tamaño y pocos bancales, con ausencia de sistemas en el cauce principal.

Esta es la principal diferencia de este sector de Matmata con el de Valmadrid. Allí la clave de la uniformidad entre la parte baja y alta de la cuenca era la gran rotura de la conectividad en toda la cuenca. Aquí ocurre justo todo lo contrario, a pesar del diseño de bancales y defensas.

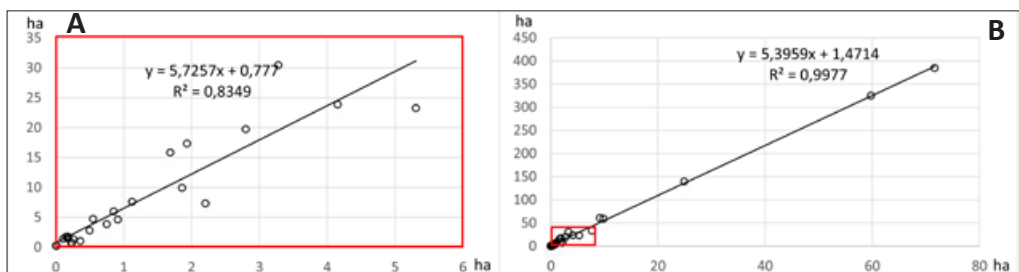


Figura 4.34: Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes): A- Subcuencas con superficie inferior a la media y B- las 30 subcuencas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10: Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del Oued el Haddej (Matmata, Gabes) (dos cabeceras y parte baja –ver distribución espacial en Anexo II-3).

	Matmata	A	B	C	Total
Nº de bancales	n	238	138	297	673
Longitud media bancales	m	30	26'8	24'6	27
Superficie media de bancale	m ²	1513	1362	1077	1292
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	19'41	19'06	17'19	18'49

Fuente: Elaboración propia.

C- BANCALES

En la cuenca de Haddej, el número total de bancales no es muy elevado, dadas sus dimensiones. Esto puede representar un hándicap para el correcto diseño del sistema, a efectos de conseguir un equilibrio entre recurso y riesgo, porque bancales más grandes implican mayores superficies de input hídrico para una misma proporción de superficie dedicada al cultivo de fondo de valle. Ello obliga a un diseño de las defensas que compense este rasgo.

En Albánchez, por ejemplo, el equilibrio entre el riesgo de erosión, el pequeño tamaño de los bancales y la gran cantidad de input hídrico media a cada uno de ellos se conseguía con defensas sólidas de piedra y vertederos reforzados: con ello no se rompía la conectividad, pero se paliaba el riesgo de erosión.

Al no poder acudir a este tipo de defensa, en este sector de Matmata (y en general en las zonas arcillosas de toda la región del Dahar), la solución obligada es la de realzar el borde de los bancales (*tabias*) creando microembalses. Aun así, no se consigue retener toda el agua en los episodios de lluvias más intensas. El punto crítico del sistema (y su punto débil cuando se descuidan las tareas de control de la erosión) son los vertederos de agua (*manafes*).



Figura 4.35: A- El pastoreo como una actividad que se mantiene y B- Bancal de tierra sin reforzar (Matmata, Gabes).

Fuente: A- Galería de Google Earth; B- Autor.

4.5.2.3. Degradación

La cuenca del Oued el Haddej es un buen ejemplo para analizar el frágil equilibrio entre el comportamiento hidrológico de la red y el cultivo en fondo de valle, así como para valorar los efectos del abandono en el cuidado de las defensas contra la erosión.

La valoración general obtenida en esta segunda cuestión es que se sigue intentando aprovechar este tipo de sistemas, incluso con un uso ganadero tradicional. Pero también se aprecia que ha disminuido el grado de dedicación, sobre todo en el cuidado y reparación de las defensas, probablemente por la competencia del sector turístico sobre el conjunto de la población agraria.

La existencia de múltiples pequeños sectores acarcavados en las laderas es un indicador de la escasa capacidad de infiltración de las laderas, su alta erodabilidad y su alta capacidad de producir escorrentía hacia los fondos de valle. Pero, en sí mismos, estos indicadores de degradación son compatibles con el correcto funcionamiento de los sistemas (son la contrapartida de proporcionar escorrentía a los bancales) y apuntan más a la alta torrencialidad de las lluvias, a litologías impermeables, quizá a sobrepastoreo, más que a dejadez o abandono de la lucha contra la erosión.

Más preocupante es observar la presencia de roturas no reparadas de las *tabias* (ver Anexo II-11). Además, el sector donde más roturas se aprecian es justamente el más preocupante, la parte baja de los grandes sistemas concatenados de bancales de fondo de valle (en la parte central de la cuenca).

El comportamiento hidrológico de la red, y los efectos de erosión y adaptaciones que condiciona, se pueden observar en los diferentes tramos del cauce principal:

- a. Mientras es un cauce de orden 1, 2 o 3 de Strahler, todo el cauce está abancalado sin interrupción y no se observan roturas de bancales ni *tabias*. Esto es común a todos sus afluentes. Podemos señalar que se trata de un conjunto de sistemas en perfecto equilibrio, pues casi toda la abundante escorrentía de las laderas y cárcavas es retenida por los microembalses de las *tabias*.
- b. En los cauces de orden 3 de cuenca más extensa, y en los dos de orden 4, es donde se observan los mayores signos de degradación actual, en forma de roturas, cárcavas en bancales e incluso la desaparición de antiguas zonas abancaladas.
- c. El cauce principal, aproximadamente desde que llega a ser de orden 5, deja de tener sistemas de bancales de fondo de valle. La acumulación de escorrentía producida por las lluvias más intensas lo impide, lo que es un claro indicador de que éstas son capaces de superar la gran capacidad de almacenaje de agua de las altas *tabias*.
- d. Tras este tramo sin bancales, el hecho de que el cauce siga acumulando escorrentía ha obligado a construir microembalses con gaviones para controlar la erosión fluvial. Los más antiguos han sido ya colmatados y permiten incluso cultivar algunos olivos.
- e. Finalmente, como quinto tramo, en la parte final del cauce, justo antes de su confluencia con el Oued el Djir, es donde aparecen los sistemas de boqueras (ver Anexo II-10): ante la imposibilidad de cultivar el fondo de valle, que éste empiece a tener terrazas laterales, y la notable acumulación de escorrentía, es la mejor solución posible.

4.6. LOS SISTEMAS DE JESSOUR Y TABIAS EN KOUTINE (MEDENINE)

Koutine es una pequeña localidad de la gobernación de Medenine, situada a unos 14 km de la ciudad. La cuenca de estudio de los cultivos en fondo de valle de este sector está situada 5 km al Este de esta localidad, al pie del Djebel Zemlet el Lebene.

Es una pequeña cuenca de 3'62 km² de extensión, drenada por el Oued Chaaoua, afluente del Oued ez Zeuss.

El Djebel Zemlet el Lebene es el último elemento montañoso del “umbral de Tebaga”, formado de W a E por el Dj. Tebaga, Dj. es Souinia, Dj. Saikra y Dj. Zemlet el Lebene. De los cuatro, los únicos que no tienen una forma claramente alineada E-W son los dos últimos. Tienen la forma de pequeños macizos de perímetro *grosso modo* redondeado y están vaciados por red fluvial, que penetra dentro de ellos. El Oued Chaaoua es el que vacía el pequeño conjunto de montañas del Djebel Zemlet el Lebene.

A partir de este último núcleo montañoso se extienden los glaciares y llanuras aluviales hasta el mar. Pero al ser un conjunto montañoso pequeño y aislado, los glaciares también están presentes al N y al S. El Oued ez Zeuss es el que drena el sector N, aunque su cabecera, el Oued Merbah bou Remli, penetra en el S y drena todo el flanco sur del Dj. Saikra. El Oued en Negueb es el que drena el sector sur, salvo este sector de Saikra.

Todos los *oudiane* pequeños de este sector presentan cultivos de fondo de valle, aunque no así los grandes, con demasiada concentración de flujo torrencial. Pero los cultivos también están presentes en las lomas de los glaciares, en particular en la parte baja de transición al fondo de valle. El pequeño Oued Chaaoua presenta características intermedias entre los fondos de valle en laderas (como los de Matmata, Albánchez...) y en glaciares: al arrancar del Djebel Zemlet el Lebene (214 m), su mitad de cabecera presenta pendientes y morfologías de valle diferentes a los de la mitad inferior y a los de alrededor. Ello constituye un buen marco de análisis comparado entre cultivos de fondo de valle en ladera y en glaciares.

La historia ha otorgado un pequeño papel destacado al valle de Chaaoua y al vértice geodésico de Zemlet el Lebene, justo por ser un valle que accede de modo corto y recto desde la llanura del N al vértice geodésico, por la altura de este (más de 200 m) y por ser el último *djebel* aislado: El 6 de marzo de 1943, en la batalla de Medenine (localidad tomada por el ejército británico en avance hacia el N), el ejército alemán lanzó un contraataque a las posiciones defensivas británicas, con la idea de ralentizar su avance hacia Mareth (Butler, 2004). El eje central de la ofensiva, el más directo, recorrió de N a S el valle, en un ataque fallido para intentar tomar el *djebel*, en poder británico. Las aguas del *oued* recorren el mismo camino, pero en sentido inverso.

4.6.1. Contexto ambiental

El medio físico del sector de Koutine presenta muchos rasgos comunes con el de Matmata. Tanto el contexto geológico como el climático son muy similares, con diferencias solo de matices. En su descripción sintetizaremos estos elementos comunes, ya descritos en el apartado anterior, y nos centraremos principalmente en las diferencias.

4.6.1.1. Geología y relieve

A- GEOLOGÍA

La figura 4.25 muestra la cercanía entre los sectores de Koutine y Matmata, y que el contexto geológico es el mismo: una plataforma recubierta por materiales marinos del mesozoico, que basculan hacia el W, con pisos del Cretácico superior cada vez más modernos a medida que nos adentramos en el Sahara. Esta plataforma está fracturada por las fallas del eje Gafsa-Medenine, de modo que desaparece más o menos bruscamente en el sector septentrional de la llanura de Jeffara. La diferencia de contexto geológico general entre ambos sectores es que el de Matmata se sitúa dentro de la plataforma, en su borde más elevado, mientras que el de Koutine lo hace en el sector de bloques hundidos.

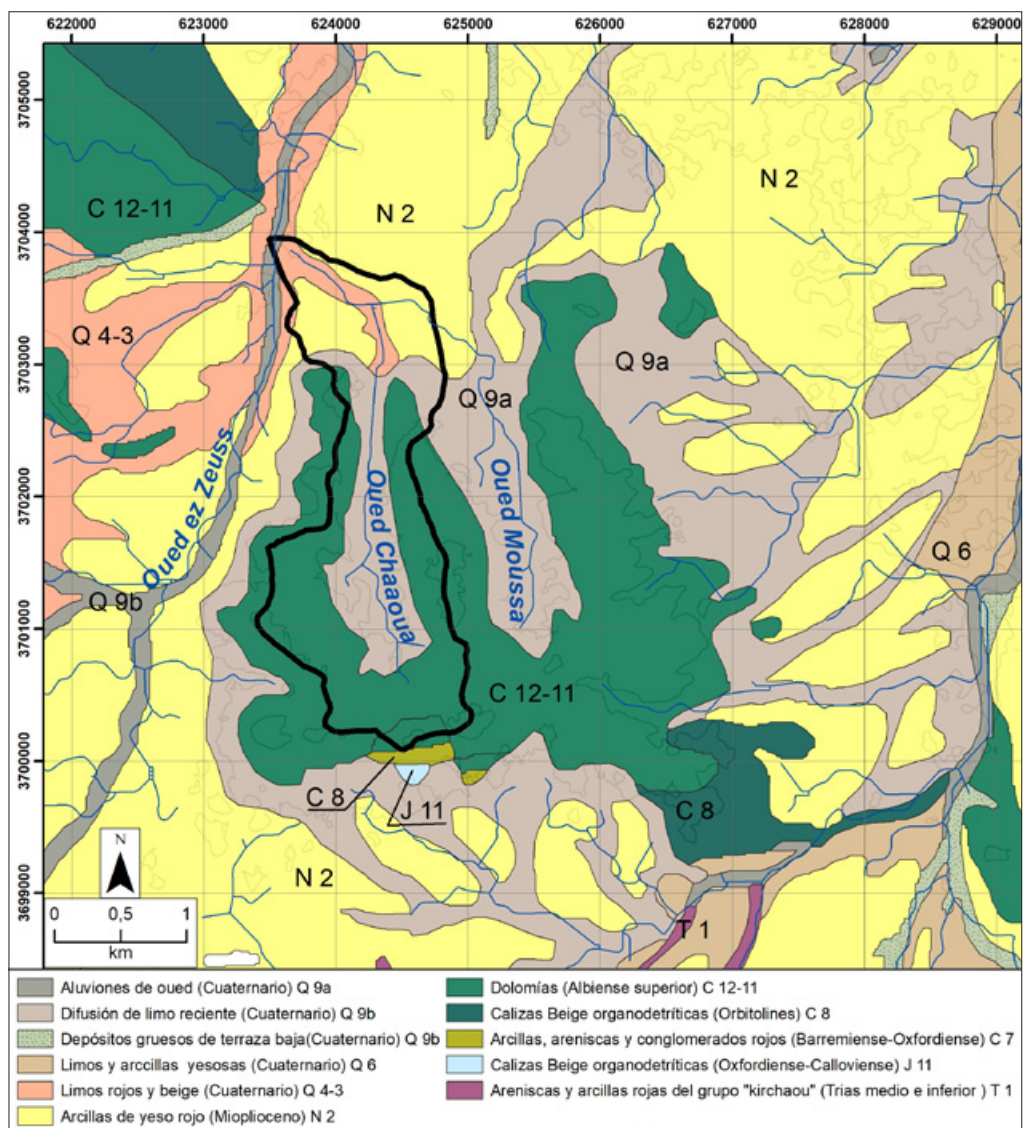


Figura 4.36: Mapa geológico de la cuenca de Oued Chaoua (Koutine, Medenine).

Fuente: Elaboración propia, a partir de *Carte Géologique de la Tunisie*, Escala 1:100.000 (INRS, 1987).

Este contexto geológico general, con una historia paleogeográfica común (depresión pérmica de Jeffara, umbral permotriásico de Tebaga, hiato sedimentario o escasa presencia del Jurásico inferior y medio, transgresión cretácica...) presenta matices locales por las fallas E-W, que se articulan con las del eje Gafsa-Medenine y condicionan el relieve de transición entre la plataforma del Dahar y la llanura de Jeffara. Una de ellas condiciona la existencia del actual eje montañoso de Tebaga, donde afloran los materiales del Pérmico superior y Triásico, los más antiguos. En el extremo de este umbral de Tebaga es donde se ubica la cuenca del Oued Chaaoua. Básicamente, en cabecera y tramo medio, es un arco montañoso perimetral de dolomías del Albiense superior que rodean limos cuaternarios. En el extremo final, la cuenca se instala ya en los materiales neógenos de la llanura de Jeffara (fig. 4.36).

4.6.1.2. Clima

El clima de Koutine pertenece ya al tipo BWh de Köppen, clima “de desierto cálido continental” o “clima sahariano” de Viers. Se trata de un clima que, a pesar de su aridez, presenta todavía ciertos rasgos “mediterráneos”, en forma de unas lluvias invernales que aún alcanzan cierta magnitud. La temperatura media anual es de 20'4°C y la precipitación media anual de 156 mm.

Según el criterio de aridez de Gaussen, su periodo seco estacional es de 12 meses. Las lluvias medias mensuales superan el doble de la temperatura en todos los meses del año. Esta aridez es extrema de mayo a septiembre, pero de octubre a marzo es mucho menos acusada. Algunos de estos meses, en los años de la serie histórica, llegan a ser húmedos. El mes más lluvioso es octubre, rasgo que muestra que la torrencialidad de las lluvias de la fachada de levante tunecina aún perdura.

La diferencia entre el clima de Matmata, todavía estepario, y el clima desértico de Koutine, situado a tan solo 36 km y muy poco más al S, tiene que ver con las condiciones geográficas de ambos lugares. En primer lugar, la mayor altitud de Matmata (unos 370m) hace que su temperatura media anual sea un grado y medio más baja. En segundo lugar, su ubicación montañosa hace que las lluvias intensas procedentes de situaciones advectivas del E sean más voluminosas.

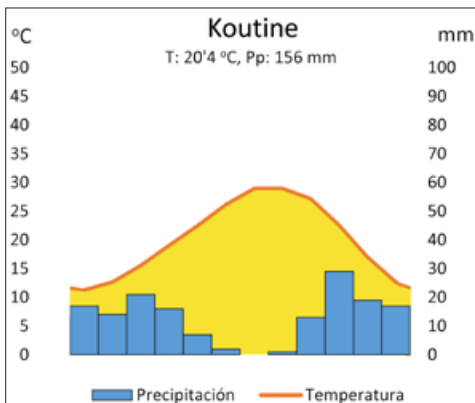


Figura 4.37: Diagrama ombrotérmico de Gaussen de la localidad de Koutine.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Climate-Data.org.

En la cartografía climática de Henia (2008) (fig. 4.30) se observa que su “clima mediterráneo subárido”, al S del eje Gafsa-Sfax, presenta una isla esteparia en las montañas de Matmata y en la franja litoral (hasta Djerba). Entre medio, se extiende una franja de clima mediterráneo “árido”, en el piedemonte del Dahar. Esto significa que las lluvias procedentes del E van perdiendo intensidad a medida que penetran hacia el interior, pero la retoman por influencia del efecto orográfico de las montañas. Es decir, a pesar de que el mecanismo que ocasiona estas lluvias es el mismo (advección de levante con DANA en altura, ver fig. 4.38) Koutine no goza ni del beneficio del ascenso orográfico ni de una ubicación litoral.

En conclusión, en Koutine, la combinación entre unas temperaturas más elevadas y una menor precipitación generan ya claramente un clima desértico continental, aunque conserve ciertos rasgos esteparios gracias a las lluvias primaverales y otoñales.

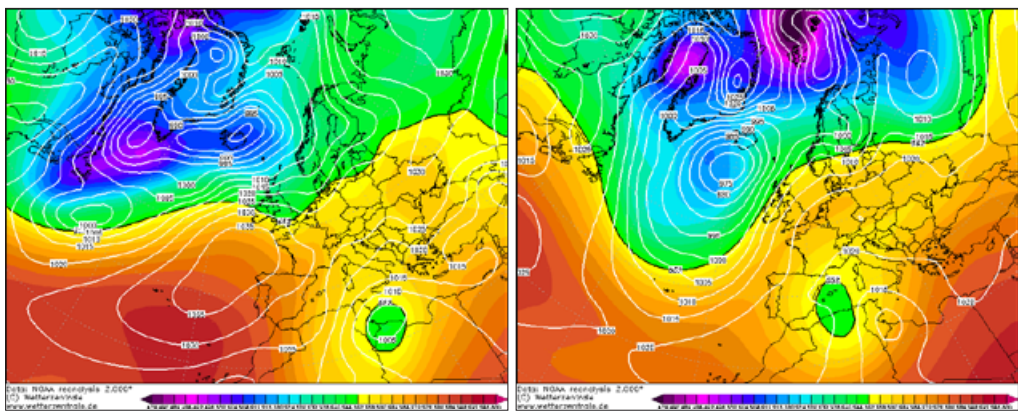


Figura 4.38: Diferentes situaciones sinópticas correspondientes a dos episodios de lluvias intensas en Koutine en Medenine y Matmata en Gabes (9 de marzo de 2007 y el 23 de noviembre de 1991).

Fuente: www.wetterzentrale.de.

4.6.2. Descripción del sistema

4.6.2.1. Cuenca y red fluvial

La cuenca del Oued Chaoua tiene una extensión de 3'6 km² de superficie total. El curso fluvial, que no llega a manifestarse como tal en el tramo medio e inferior, es afluente del Oued ez Zeuss, que vierte sus aguas directamente en el Mediterráneo en las marismas de Om Jessar. El cauce principal solo llega a ser de orden 4, según el criterio de jerarquización de Strahler. Después de la temprana unión de dos cauces de orden 3 en cabecera, ya no recibe barrancos afluentes de consideración en los tramos medio y final de la cuenca. Es, por tanto, una red en espiga (ver fig. 4.39).

La cuenca es alargada, con un eje mayor de 4 km y una razón de elongación (según Schum, 1956) de 0'54, la más alejada de la circularidad (ratio 1) de todas las cuencas estudiadas (tabla 4.11). El desnivel máximo es escaso, de 116m, entre 214m del punto más alto y 98m en la desembocadura. La densidad de drenaje también es moderada (10'04 km/km²). Todos estos elementos hacen que sea la cuenca menos rugosa y con menores pendientes de las estudiadas. La pendiente del eje principal es solo de 29m/km.

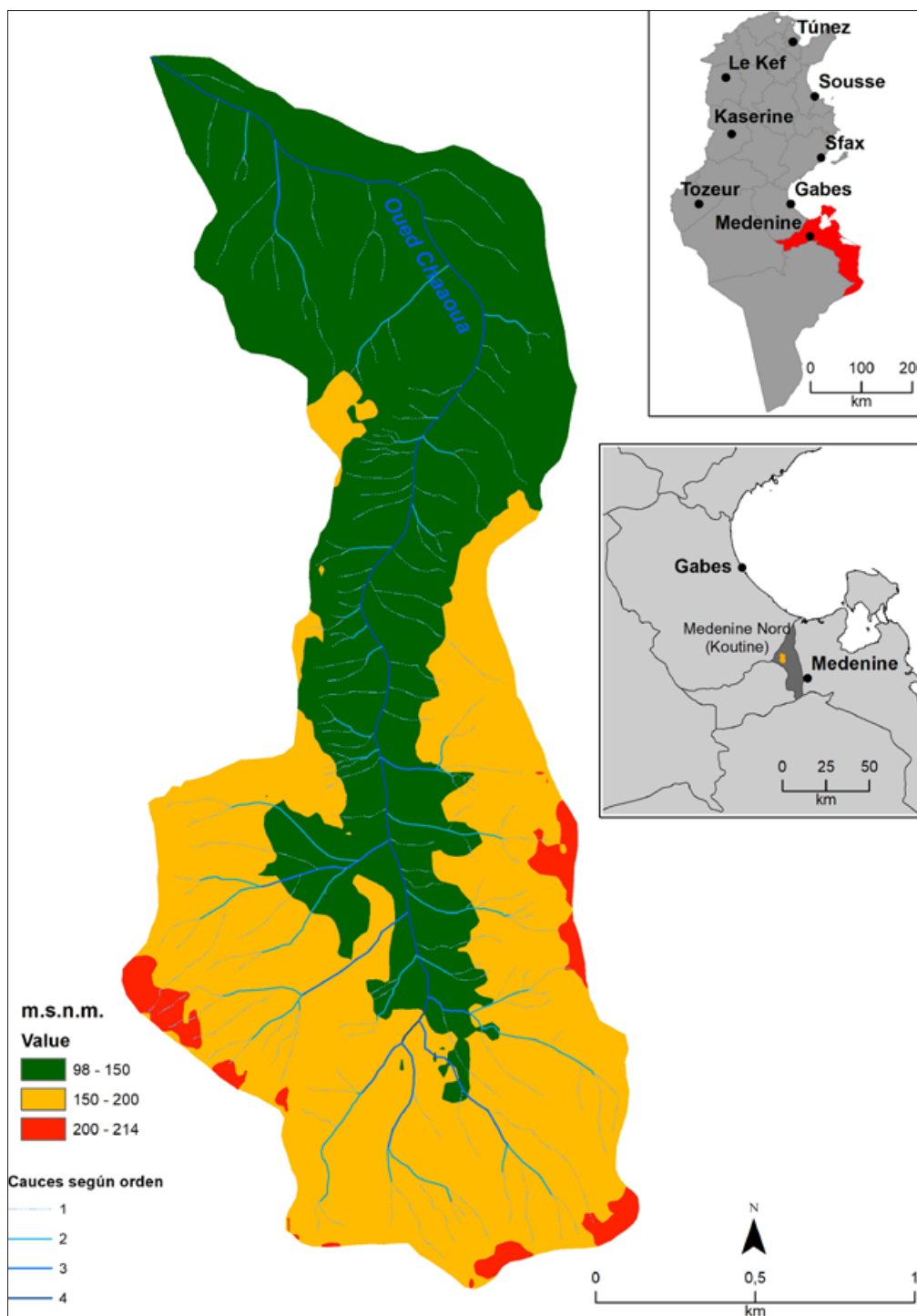


Figura 4.39: Localización y red hidrográfica de la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11: Parámetros morfológicos de la cuenca de drenaje del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).

Koutine					
Superficie (A)	km ²	3'60	Amplitud (W)=(A/Lb)	km/km ²	0'77
Perímetro (P)	km	10'73	Razón de elongación(Re) (Lw/D)	km/km	0'54
Diámetro del círculo asociado (D)	km	2'15	Punto más alto (hmax)	m	214
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	36'37	Punto más bajo (hmin)	m	98
Longitud del cauce principal (Lb)	km	4'67	Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	116
Eje mayor (Lw)	km	4'00	Pendiente media del cauce principal (dn/Lb)/10	%	2'48
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	10'04	Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	29'04

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2.2. Los cultivos

A- USOS DEL SUELO

Los cultivos de la cuenca de Chaoua ocupan una cuarta parte de la superficie total. De ésta, un 15'1% corresponde a sistemas de *jessour* de fondo de valle, mientras que el 11% son superficies cultivadas mediante *tabias* que retienen la escorrentía en la parte baja de las laderas (tabla 4.12). Se cultiva principalmente olivo.

Estos porcentajes de superficie cultivada, tan elevados para un clima con tan escasa precipitación, son debidos a varias razones. La primera de ellas es el propio sistema de *jessour* con *tabias* altas, que son capaces de retener toda la escorrentía, creando microembalses. Ello permite suministrar con una pluviometría del orden de 200 mm el equivalente de una lluvia de 500mm (Pallautt y Romagny, 2009, p.228). En un *jessour* modélico, con aportes del eje central del curso fluvial y con la contribución de aportes laterales, esto permitiría el cultivo de varios tipos de árboles frutales e incluso de leguminosas y cereales en los lugares de máximo encharcamiento del agua (figs. 4.40 y 4.41).

Tabla 4.12: Superficie cultivada en la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).

Koutine		
Superficie de la cuenca	km ²	3'60
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'55
Cultivo fuera del fondo de valle	km ²	0'41
Superficie no cultivada	km ²	2'67
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	15'1
% Cultivo fuera del fondo de valle	%	11'2
% Superficie no cultivada	%	73'7

Fuente: Elaboración propia.

Otra de las razones está en la alta participación de las superficies de cultivo fuera del fondo de valle (11% de la superficie de la cuenca) con sistemas de *tabias* en ladera, que captan casi toda la escorrentía lateral. Estos sistemas se extienden en todos los sectores de la cuenca (fig. 4.42), tanto en cabecera y parte media como, sobre todo, en la parte baja de la cuenca.

Pero la razón principal estriba en que, en realidad, es muy escasa la parte de superficie cultivada realmente eficiente. En el Anexo II-13 pueden observarse, como ejemplo de bancales de sistemas *jessour*, casos de bancales con un aprovechamiento completo con olivos (A) y otros en los que éstos solo ocupan la parte de mayor acumulación de agua (C). Incluso llega a observarse la existencia de tramos de cauce sin cultivo (B), por la escasa o nula acumulación de agua. Esto mismo ocurre con los sistemas de *tabias* en ladera (ver Anexo II-12): hay bancales, como el C y B, en los que sólo prosperan los olivos grandes en las esquinas del bancal donde se acumula el agua.

La paradoja de que la cuenca estudiada más árida presente las mayores tasas de superficie de cultivo total, por tanto, se explica porque son sistemas que retienen toda el agua y por la baja densidad de estos cultivos.

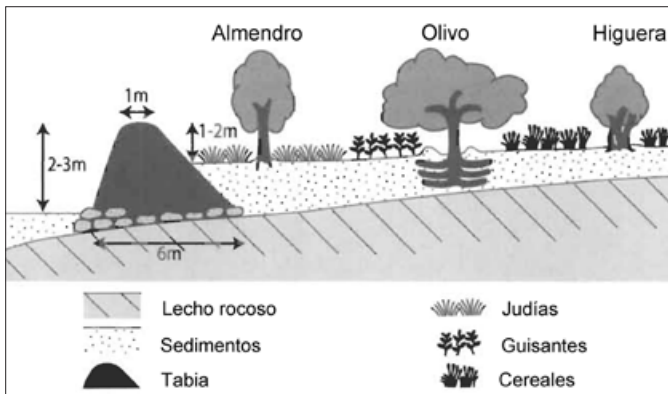


Figura 4.40: Esquema de *jessour* modélico.

Fuente: Modificado, a partir de Woodland y Hill (2006, p.236).



Figura 4.41: Vista de una *tabia* con aportes de escorrentía lateral (Medenine, Túnez).

Fuente: Autor.

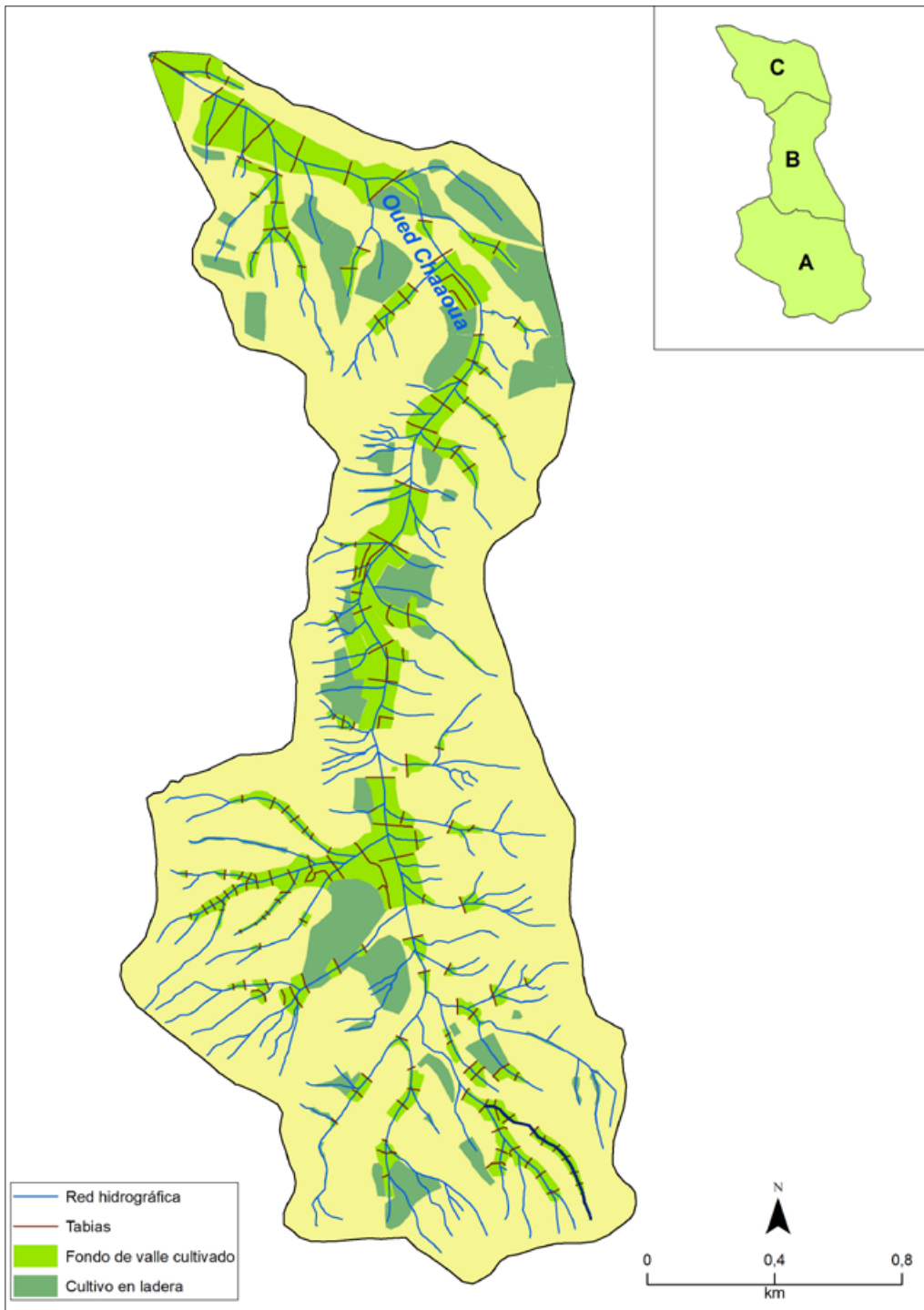


Figura 4.42: Distribución espacial de los cultivos de fondo de valle en la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

B- ESTRUCTURA ESPACIAL Y BANCALES

Los sistemas empiezan normalmente con cauces de orden 2 de Strahler. Son una excepción los casos de orden 1 cultivados. La razón está en la poca escorrentía generada con unas lluvias muy escasas y un relieve perimetral de litologías poco impermeables, las dolomías cretácicas. La superficie mínima para que comiencen a aparecer sistemas es de 2'6 ha, la más elevada de todos los casos estudiados.

La pendiente de la recta de regresión es la más alta, también, de todos los casos estudiados, comparable a la de Albánchez. Ello quiere decir que, como allí ocurría, son necesarias más hectáreas vertientes para conseguir las mismas hectáreas de cultivo (al contrario de lo que ocurría en Matmata y en Valmadrid). La diferencia con Albánchez es que, allí, el factor limitante era de índole geomorfológica (la falta de espacio cultivable) mientras que aquí es de índole climática (la falta de agua).

Para analizar las diferencias entre distintas partes de la cuenca, en este caso se la ha sectorizado en parte alta, media y baja, ante la existencia de grandes cuencas en cabecera que permitiesen subdividirla al igual que en los tres casos anteriores. Según esto, no se observan apenas diferencias en la distribución espacial de los sistemas de *tabias* en laderas, presentes en los tres sectores, pero sí algunas en los sistemas de *jessour*. En esencia, la diferencia está en que, en cabecera, hay un poco menos de superficie de *jessour* que en los tramos medio y bajo, pero, sobre todo, en que la ubicación de los *jessour* está en mayor medida en los cauces tributarios y mucho menos en el principal. En los tramos medio y bajo se invierte esta ubicación, pues apenas hay *jessour* en los tributarios y casi todo está en el cauce principal. Esto apunta claramente a que los pequeños *jessour* de cabecera retienen toda el agua y no aportan nada o apenas al cauce principal. Se trata pues de un conjunto de sistemas que se alimentan de su propia cuenca vertiente y no ceden escorrentía aguas abajo.

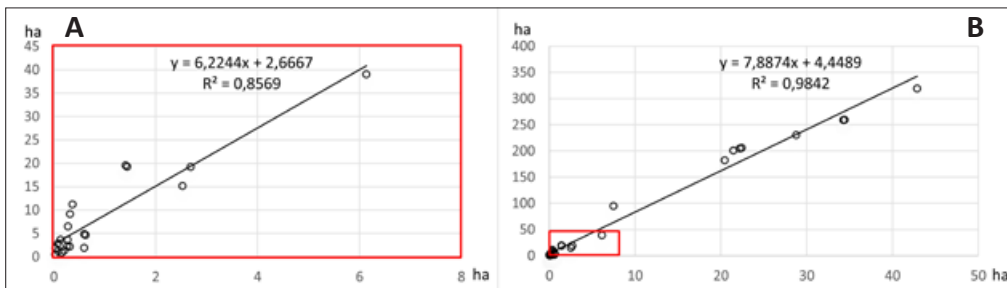


Figura 4.43: Relación entre la superficie total cultivada y la superficie total de 30 subcuencas seleccionadas aleatoriamente en la cuenca del Oued Chaaoua (Koutine, Medenine): A- Subcuencas con superficie inferior a la media y B- las 30 subcuencas.

Fuente: Elaboración propia.

C- BANCALES

El tipo de defensas que se utilizan en los sistemas de *jessour* de Koutine, como se ha señalado, es el de *tabias* elevadas. Es también el que se utiliza en los cultivos de ladera. Se trata del único elemento de defensa, pues este diseño permite retener toda el agua de escorrentía (ver fig. 4.44), y hace innecesario disponer de vertederos reforzados. Si con unas lluvias muy intensas se rompiese una *tabia*, no es excesivamente costoso repararla.

El único requisito del sistema de defensa es que debe cerrar todo el valle (o toda la ladera), lo que obliga a diseñar largos bancales, de gran superficie y, en el caso de las laderas con uno o dos laterales.

En la tabla 4.13 puede observarse, en general, los elevados valores medios de longitud de las *tabias* y de la superficie de los bancales, en comparación con lo que ocurre en otros sectores estudiados. Se observa, también, el incremento paulatino de las dimensiones desde la parte alta a la baja de la cuenca. La longitud de los cierres de los bancales pasa de 42'6 metros en la parte alta a 56'3 en la media y a 66'8 en la baja. Y en superficie se pasa de 21'5 Dm² en la parte alta a 42'8 Dm² en la media y a 57'8 en la baja. Esto implica que el porcentaje de superficie cultivada también se vaya incrementando, desde un 11'5 a un 21%. Pero ello no quiere decir que haya más cultivo: aumenta su superficie, pero no la cantidad de agua interceptada, por lo que en bastantes ocasiones sólo se observan cultivos arbóreos grandes en las partes más hondas de los bancales, mientras que no prosperan o no hay cultivos en el resto del bancal.



Figura 4.44: Bancal con agua retenida (Medenine, Túnez).

Fuente: Autor.

Tabla 4.13: Longitud media de los bancales y porcentaje de superficie cultivada en tres sectores de la cuenca del Oued Chaoua (Koutine, Medenine) (parte alta, parte media y parte baja –ver distribución espacial en Anexo II-4).

	Medenine	A	B	C	Total
Nº de bancales	n	90	39	32	161
Longitud media bancales	m	42'6	56'3	66'8	50'7
Superficie media de bancal	m ²	2156	4282	5781	3398
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	11'46	16'34	20'99	15'11

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2.3. Degradación

La cuenca del Oued Chaaoua presenta muy escasos signos de degradación. Un primer elemento explicativo está en el perímetro montañoso de dolomías cretácicas que cierra casi totalmente la cuenca, que, al estar constituido por rocas duras, no sufre procesos de erosión, salvo los edáficos. Los materiales aluviales neógenos y cuaternarios (fig. 4.36) de la parte baja de las laderas, fondos de valle y tramo final, son los únicos que, en principio, podrían estar afectados por procesos de erosión por aguas concentradas. Pero esto solo se observa, y escasamente, en dos tipos de lugares:

1. En pequeños sistemas de *jessour* abandonados en los tramos iniciales de cauces de primer orden de cabecera (con las máximas pendientes de la cuenca).
2. En la parte alta de cultivos de *tabias* en ladera (sobre todo, en el tramo medio de la cuenca).

En general, es difícil observar roturas de grandes *tabias* en los *jessour* del área de Medenine, y ninguna en la cuenca estudiada. Esto apunta, como se ha señalado ya, a que toda la escorrentía es captada por los microembalses en que las *tabias* convierten a los bancales. En los pequeños sistemas de cabecera abandonados, sí que pueden observarse roturas concatenadas de todas las *tabias*, pero es un proceso desencadenado por el abandono de unos campos de cultivo muy poco rentables y de difícil acceso. Es algo semejante a lo que ocurre en los pequeños bancales triangulares existentes al final de cauces de orden 1 en Valmadrid, cuya roturación no es rentable, que también presentan ocasionalmente pequeños signos de degradación erosiva.

La erosión con *rills* de la parte alta de los grandes bancales de *tabias* en laderas es consecuente con el propio diseño de estos sistemas, pues apenas llegan a permitir cultivos y funcionan más como área de *impluvium* de la parte baja del bancale, donde están los grandes árboles: si el diseño no funciona y el *input* pluviométrico no da para nuevos cultivos, no importa que se erosione con *rills* y que proporcione sedimentos y agua a la parte baja del bancale.

Otra clave de la escasa degradación de la zona es que no presenta signos de abandono de los usos agrícolas del suelo. Se trata de una zona muy accesible, con la entrada al valle a 6'5 km de Koutine, por carretera.

En conclusión, la combinación de unas lluvias intensas menos agresivas, una topografía bastante llana y accesible, un escaso abandono, y un mantenimiento de puntuales elementos de defensa, consiguen hacer de este sector uno de los más equilibrados de todos los estudiados.

A modo de **conclusiones**, los sistemas de cultivo en fondo de valle aparecen allí donde la pluviometría es insuficiente para proporcionar un *input* directo adecuado a los cultivos, pero no insuficiente para poder desarrollarlos si se concentra la escorrentía.

Para ello, la solución más “natural” es ocupar los fondos de valle, pues allí es donde se acaba concentrando el agua. Esta se puede interceptar en las laderas, pero ello siempre es una solución más costosa y menos productiva que hacerlo en el fondo del valle, el lugar natural de la escorrentía concentrada. Pero esto conlleva un riesgo de erosión, por encajamiento de la red fluvial. En todos los sectores estudiados, el control del agua es clave en el funcionamiento correcto y equilibrado de los sistemas.

En el diseño de los sistemas de todos los ejemplos estudiados se busca un equilibrio entre la máxima captación de escorrentía y que ésta no provoque problemas de erosión. En general se tiende a conseguir que el sistema no acumule agua en los bancales inferiores (Valmadrid, Koutine): romper la conectividad del sistema. Si, en situaciones puntuales extraordinarias, se restablece la conectividad natural y se producen roturas de las defensas, la solución que debe adoptarse es la de su rápida restauración. Pero cuando ello no es posible (por torrencialidad de las lluvias, pendientes, litologías impermeables, tamaños grandes de cuenca..., como en Albánchez o Matmata) en tal caso la solución es echar mano de defensas más eficientes (mayor acumulación de agua, conexiones reforzadas entre bancales, paredes sólidas, etc.). Aun así, se puede llegar a un punto en que sea imposible desarrollar estos sistemas, por exceso de concentración de agua. En tal caso, este tipo de sistemas desaparece.

En todo el complejo sistema de adaptación al medio para conseguir romper la conectividad natural, no se ha observado ningún elemento de tipo cultural, ni incluso económico. Estos factores pueden llegar a influir en el mantenimiento o en la degradación del sistema, pero no en su implementación.



Figura 4.45: Manfas reforzado en una *tabia* en Medenine.

Fuente: Autor.

5. SISTEMAS DE DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍA CONCENTRADA



*Azud de Guadalupe en el barranco del Zoco o Cabezo Blanco, entre las pedanías de Espinardo y Guadalupe de Maciascoque (Murcia).
Fuente: Autor.*

5. SISTEMAS DE DERIVACIÓN DE ESCORRENTÍA CONCENTRADA

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se centra la atención en el aprovechamiento de la escorrentía concentrada en cauces. Su posición en la tesis doctoral asume un “orden hidrológico”, en el sentido de que en primer lugar se han estudiado sistemas basados en la generación de escorrentía en laderas, en segundo lugar se ha estudiado el aprovechamiento de la escorrentía concentrada en fondos de valle, pero controlada casi totalmente por el agricultor, y en tercer lugar se estudia la utilización ocasional de la escorrentía concentrada en cauces que alcanza volúmenes ingobernables para ser aprovechada en el mismo cauce. En medios semiáridos, la solución tradicional de *water harvesting* que suele aparecer es la derivar parte o toda esta escorrentía a otros ambientes geomórficos, como son los conos de deyección, las terrazas fluviales o los glacis.

La denominación elegida para el capítulo ha sido, conscientemente, la de “derivación de escorrentía concentrada”. Se ha evitado la utilización del término “turbias” y la del término “boqueras”, dado que su utilización, según autores, puede referirse a conceptos diferentes. En el caso del término “turbias”, se ha seguido el criterio de considerar como tales a cualquier tipo de escorrentía, concentrada o no (como en Hernández, 1996; Mondéjar, 2009; Hernández y Morales, 2013,...). Siguiendo este criterio, sería aprovechamiento de “turbias” cualquiera de los sistemas analizados hasta el momento (*meskat*, fondos de valle..., incluso algunos aprovechamientos puntuales, como el riego de prados en Monteagudo del Castillo).

No obstante, en la utilización que se hace de este término, es frecuente encontrar asociaciones entre “turbias”, “boqueras” y “derivación de...”. Es decir, suelen utilizarse como sinónimos los términos “riego de turbias” y “riego de boqueras” (o de “alfait”, en Murcia) para el concepto de “derivación de una avenida”. Esto es así porque la mayor parte de los ejemplos analizados en la literatura antigua y actual (ver por ejemplo Gil Meseguer, López Fernández y Gómez Espín, 2015), son casos de aguas turbias, captadas con boqueras como derivación de avenidas. Coinciden, por tanto, el tipo de agua, la técnica, el tipo de escorrentía y el medio hidrogeomórfico.

5.1.1. La técnica

Las *boqueras* o *mgoud* son una modalidad de aprovechamiento de las aguas de escorrentía concentradas en los barrancos y *ouedian* que consiste en la derivación de una porción o de la totalidad del flujo circulante de forma eventual en épocas de lluvias intensas, a través de un dique, para ser utilizado en los campos de cultivos. La principal diferencia entre esta modalidad y la tratada en el capítulo anterior (los

cultivos de fondo de valle, las cañadas, vales o *jessour*) radica en que el lugar del aprovechamiento se emplaza fuera del lecho.

La captación del flujo, podía practicarse hasta en los cauces más pequeños. Interceptar y derivar estas aguas eventuales es de suma importancia en un medio semiárido, que el agricultor no debía desperdiciar y dejarlas perder en las ramblas (Hernández y Morales, 2013, p.109).

El agua de la rambla puede ser desviada por un dique fijo o simplemente por un amontonamiento de piedras y arena (Perdomo, 2003, p.59). En cuanto a los diques de derivación, Morales (1969, p.171) distingue entre dos principales tipos; a) el transversal, que está compuesto por una pared que cruza el lecho del barranco con la finalidad de nivelarlo, y sobre la que se construye otra de menor altura que actúa como partididor, y b) de tipo malecón, que igualmente dispone de la primera pared transversal y de otra paralela a la dirección de la corriente (ver fig. 5.1).

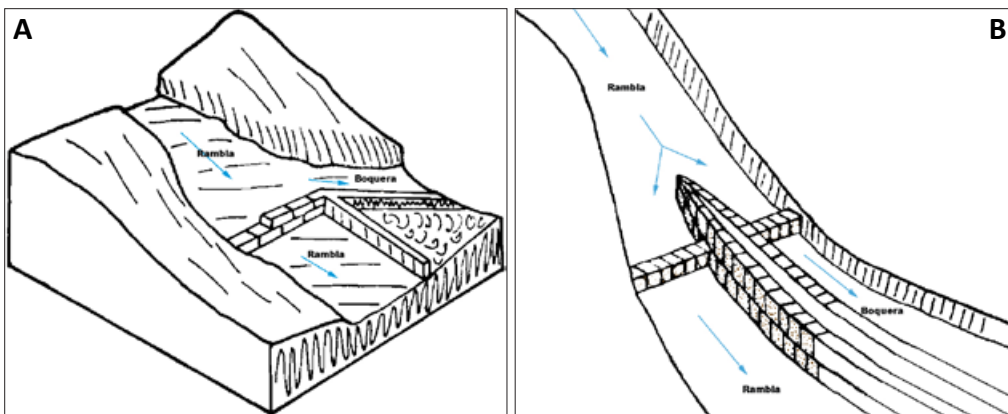


Figura 5.1: Los principales tipos de diques A- Transversal y B- Malecón.

Fuente: Morales (1969, pp.172-173).

Para poder llegar a una velocidad adecuada de las aguas en las boqueras (no muy elevada que acabe desmoronando el dique, ni muy baja que pueda taponar los canales por la sedimentación de porte sólido de las aguas turbias) señala Mondéjar (2009, p.87) que los agricultores suelen combinar las siguientes técnicas:

1. **Pendiente ascendente en el primer tramo:** está técnica le contrarresta fuerza a la corriente desviada. Una vez controlada la fuerza erosiva del agua, vuelve el canal a disponer de una pendiente suave, para facilitar la distribución por gravedad.
2. **Balsa-decantador, al inicio de la boquera:** este método se emplea cuando no es posible practicar el primero. En la mayoría de los casos, es suficiente ensanchar el canal, una vez atravesado el dique, sin la necesidad de realizar ninguna obra.
3. **Compuerta de regulación de caudal:** se emplea en los azudes grandes o en las boqueras que presentan dificultades topográficas para la utilización del método de la pendiente ascendente en el primer tramo. Las desventajas de este método están en la necesidad de disponer de un operario.

4. **Aliviaderos:** la mayoría de las boqueras cuentan con este elemento, que se suele ubicar cerca de la entrada de agua. Funcionan, por defecto, evacuando el agua que alcanza un cierto nivel de altura.

5. **Descenso de la cota del dique:** en algunas boqueras, las partes altas de los diques tenían tablachos de madera, a modo de compuerta de seguridad. En casos de necesidad se quitaban, para dejar que el agua rebasara y volviese al cauce.

El aprovechamiento del caudal de la rambla, puede ser íntegro o parcial. Salvo en las boqueras de utilidad pública, en las que el dique podía interrumpir la totalidad del lecho, el derecho consuetudinario establecía que los aprovechamientos de turbias no podían captar la totalidad de los caudales, con el fin de que los propietarios situados aguas abajo no quedasen excluidos del aprovechamiento de turbias (Gil Olcina, 1993; p.67 y López Bermúdez, 2014, p.408).

5.1.2. Algunas referencias históricas

Se ha considerado, en ocasiones, que la tecnología aplicada al aprovechamiento del agua es de origen árabe, introducida desde Oriente Medio y Próximo. Pocas tecnologías se desarrollan con posterioridad (Al-Hassan y Hill, 1986, p. 34). Bernabé (1989, p.16), en su estudio de las obras tradicionales del agua en Petrer, señala la posible correspondencia entre los *parats* y técnicas similares ya conocidas por los árabes del Negev y los bereberes del N a Africa (citando a Walter, 1976, p.76).

No obstante, las primeras referencias escritas sobre el uso de las aguas de crecida en España están en el *Fuero Juzgo*, y son por tanto anteriores. El *Fuero Juzgo* es una traducción del *Liber Iudiciorum* o Libro de los Jueces visigótico (siglo VII), promulgado inicialmente por Recesvinto (654) y completado posteriormente. La traducción en romance existe como mínimo desde Fernando III (1241), aunque parece ser que existen versiones anteriores (en catalán, en árabe o incluso una versión del S. XI de la monarquía asturiana, según Prieto, 1948). En la traducción en romance, del S. XIII se indica que: «*nengun omne debe encerrar el rio por toller la pro a todos los otros, é facerla suya; mas puede facer seto fasta medio del rio, alli o es el agua más fuerte, é que la otra meatad finque libre para la pro de los omnes*» (resaltado por Hernández y Morales, 2013, p.114, citando a Morales, Box y Marco, 1989).

Es de suponer, por tanto, que los *parats* y las boqueras, o los *mgoud*, eran técnicas antiquísimas, aplicadas en todo el Mediterráneo antes de la dominación árabe, aunque ésta contribuyese a aumentar su difusión. Se trataría, posiblemente, de técnicas con una base importante de origen romano, como opinan Roldán y Moreno (2007, p.223), que citan trabajos en los que se destaca este hecho (vgr. Gilman y Thornes, 1985; Giráldez *et al.*, 1988; Box Amorós, 1992).

Las primeras investigaciones sobre la gestión del agua en el norte de África datan de los principios y mediados del siglo XX, y fueron llevadas a cabo por investigadores

franceses (Brunhes, 1904; Despois, 1949; Bugeat, 1957, entre otros).

En España, las referencias bibliográficas de principios de siglo son más escasas (Mondéjar, 2009, p.21), limitándose a obras generales sobre el cultivo de secano (*vgr.* Salazar, 1921), a traducciones sobre técnicas norteamericanas en zonas semiáridas (*vgr.* Widtsoe, 1911 o Dantín Cereceda, 1915) o la reseñable obra de Muñoz Palao (1918) sobre el aprovechamiento integral del río Segura. Hay que esperar a los años 50-70 para ver aparecer artículos más extensos y específicos sobre aprovechamiento de turbias y riegos con boqueras (*vgr.* Llobet, 1958; Vilá Valentí, 1961; Navarro, 1969, o Morales, 1969).

Sin embargo, como en otras muchas ocasiones, es el abate Cavanilles quien hace una primera referencia específica al uso de estas técnicas, al señalar que “...*extrañará ver salir a los labradores hacia sus haciendas quando comienza a tronar, o amenaza alguna tempestad: los truenos, que en otras partes sirven de señal para retirarse a sus habitaciones, lo son aquí para desampararlas y salir en busca de las aguas y el deseado riego: se fecundan entonces los olivos, higueras, almendros, viñas y algarrobos; y el suelo entero se mejora con el cieno que traen las aguas.*” (Cavanilles, 1797, T.II, p. 255).

5.1.3. Los condicionantes del medio físico

Los condicionantes del medio físico para la aplicación de éstas técnicas se encuentran en todos los aspectos habituales que suelen considerarse: topográficos, geológicos, climáticos, geomorfológicos... Funcionan dentro de un rango de posibilidades más o menos amplio, con óptimos, y con extremos en los que estas técnicas no pueden aplicarse o no interesa.

El factor geológico, en principio es poco condicionante o limitante de modo directo, salvo en las litologías. En general, las litologías margosas y arcillosas, o los aluviones cuaternarios, son las que soportan mayor número de casos, por varias razones: mayor generación de escorrentía en la cuenca; facilidad para excavar las boqueras y perforar los túneles (*alcavons*), si es necesario; mayor posibilidad de que se generen glaciares, superficies muy aptas para el regadío... Pero se encuentran casos de canales labrados en rocas duras, litologías que también suponen ventajas en ocasiones (posibilidad de encontrar bloques para los diques de derivación y *parats*; mejor anclaje para estribar los *parats*, que funcionan como micropresas...).

El factor topográfico tampoco suele funcionar como limitante, pues permite que se diseñen estos sistemas en un amplio tipo de contextos. Pueden observarse ejemplos en valles de barrancos con relieve abrupto, al mismo tiempo que en topografías llanas, aunque es evidente que éstas son claramente más favorables: facilitan el trazado del canal, consiguen que la falta de zonas regables no sea un factor limitante, y acercan el punto de captura de agua a la zona regada.

El factor geomorfológico, muy ligado al anterior, actúa en el mismo sentido. Tampoco es un factor limitante, pues pueden observarse zonas regadas en laderas. Pero hay tres ambientes geomórficos en los que estos sistemas tienden a instalarse con preferencia, al ser zonas apropiadas para el cultivo: los conos de deyección, las terrazas fluviales y los glaciares.

El encajamiento de la red fluvial es un elemento geomorfológico que pudiera ser un importante condicionante, tanto en la zona regada como, sobre todo, en el canal del que se toman las turbias. Nuestra hipótesis inicial es que tampoco funciona como factor limitante, a pesar de que condiciona notablemente la magnitud de las represas del agua y la longitud del canal entre la derivación del agua y la zona regada.

El factor climático funciona aparentemente al revés que los anteriores, pues marca un límite muy concreto para la aparición de estas técnicas, a pesar de no ser limitante en sentido estricto: son técnicas características de espacios semiáridos, con una precipitación situada normalmente entre 150 y 400 mm/año, y en particular entre 200 y 350 mm/año. Simplemente ocurre que, por encima de estas cantidades, no son necesarias, y por debajo, es muy difícil que resulten eficientes. Para el límite inferior, el elemento climático clave es la intensidad de las precipitaciones. Para que una boquera/*mgoud* sea eficiente no solo hace falta que las lluvias sean torrenciales, capaces de producir escorrentía en los cauces secos, sino también que se repitan varias veces al año en términos medios. Esto implica normalmente unas lluvias totales anuales medias, en torno a unos 150-200mm/año, según se desprende del contraste con el mapa de precipitaciones en Túnez (Anexo IV.1).

Finalmente, otro factor a considerar del medio físico es el hidrológico. Desde este enfoque, el requisito mínimo es que las características del sistema hidrográfico y su tamaño sean capaces de generar riadas de una mínima magnitud. En este factor, se puede observar un límite mínimo, pero no máximo, como demuestran los sistemas de boqueras en grandes conos de deyección de cursos fluviales con extensas cuencas (Tiata/Guadalentín, Belkhir/el Akssaab).

En el caso del límite hidrológico mínimo, el comportamiento está condicionado por múltiples factores: las litologías de la cuenca, su extensión, la estructura de la red, las pendientes, la intensidad de las lluvias..., pero también por la competencia con otros sistemas, en especial cuando los sistemas de cultivos en fondos de valle son ya incapaces de asimilar y controlar la escorrentía concentrada en ellos (ver apartado 4.5, en especial 4.5.2.3).

5.1.4. Objetivos del trabajo

En el enfoque que se le quiere dar a este capítulo, las consideraciones terminológicas que se señalaban al principio no tienen apenas importancia. En el complejo mundo del aprovechamiento de “turbias”, que incluye aspectos históricos,

diferentes términos y acepciones, diferentes tipos y procedencias del agua, técnicas de captación, complejidad de su gestión en algunos casos, etc. queremos centrarnos esencialmente, como elemento de comparación, en las cuestiones hidrogeomórficas.

Entre los casos estudiados en Túnez y en el SE español, se han seleccionado ejemplos que sean comparables, pero a la vez que presenten en conjunto un amplio abanico de condiciones particulares. El objetivo general es discriminar si los factores del medio físico que concurren en cada caso son capaces de explicar la utilización de la técnica y su forma de aplicarla; o si, por el contrario, pueden concurrir otros factores no ambientales. En concreto, se estudiarán cuáles son las claves que pueden explicar que se use la técnica en cada lugar y cómo se produce la adaptación del agua captada a cada ambiente geomórfico.

Es un proceso de análisis y reflexión que se ha aplicado, en ocasiones, a casos nuevos, pero, en muchos ejemplos, a casos estudiados por otros autores. Dado el casi nulo estudio de casos en el Túnez semiárido (a pesar de la existencia de muchos estudios que citan la técnica), la estrategia utilizada ha sido la de localizar allí casos de *mgoud* tradicionales a partir de informadores locales, visitarlos y realizar trabajo de campo, y decidir una selección definitiva que sea representativa de diferentes contextos ambientales. El posterior trabajo de los sistemas cultivo en fondo de valle nos ha permitido añadir algunos casos más, especialmente interesantes por tratarse de combinación de sistemas en un mismo lugar.

En España, por el contrario, donde existe una amplia bibliografía de casos de estudio, muchos de ellos con esquemas gráficos o tratamiento cartográfico, se ha optado por realizar una selección entre ellos y no incorporar ningún estudio nuevo. Como criterios, se han elegido casos de regadío en diferentes ambientes geomórficos, sistemas con diferentes escalas, derivaciones con diferentes dificultades de acceso al agua y, en conjunto, sistemas con características en cierta medida equivalentes a los estudiados previamente en Túnez. El objetivo final ha sido, en definitiva, facilitar el análisis comparado sin perder la guía de los objetivos generales de la tesis doctoral.

5.2. APROVECHAMIENTOS EN CONOS DE DEYECCIÓN

Los conos de deyección constituyen el ambiente geomorfológico más favorable para el emplazamiento de sistemas de boqueras. Reúnen casi siempre los dos requisitos esenciales: por una parte, una superficie llana, de secano, pues no suele poder llegar a ellos el regadío tradicional, y por otra unos caudales efímeros suficientemente abundantes y recurrentes, pues están situados en el tramo final de barrancos o ramblas de cierta entidad. El tamaño del cono suele estar proporcionado con la cantidad de caudal que suele llevar en sus avenidas efímeras el cauce que lo ha generado, por lo que no es difícil observar la ocupación total o casi total de estos espacios. En última instancia, la dimensión de la zona regada con turbias depende de la relación entre el caudal de las avenidas y el tamaño del cono de deyección, que a

su vez depende de otros factores ambientales, como la torrencialidad de la lluvia, las pendientes de la cuenca, o las litologías más o menos deleznable. En todo caso, es la experiencia de los agricultores la que acaba dimensionando el sistema.

Teniendo en cuenta que se trata de espacios de ciertas dimensiones y que su diseño puede incluir el riego de apoyo con aguas extremales en riadas extraordinarias, estamos normalmente delante de obras colectivas. En el diseño de este tipo de uso del territorio y de gestión del agua cabría pensar, por tanto, *a priori*, en la influencia de factores no ambientales.

Podemos adelantar ya, tras los casos analizados aquí y otros de los que se tiene conocimiento, nuestra hipótesis de que estos posibles factores no ambientales tienen un peso nulo o casi inexistente. En Túnez, por ejemplo, tanto en el caso analizado como en otros observados, el diseño de los sistemas de boqueras en conos se hace “a máximos”, considerando las riadas más extraordinarias y ajustando el sistema con la selección del tipo de cultivos. En España nuestra percepción es que ocurre algo similar.

5.2.1. Las boqueras de Tiata (Lorca) y Tiñosa (Beniaján)

En los ejemplos de sistemas de boqueras en conos de deyección de España se ha elegido el caso de La Tiata, en Lorca (Murcia). También se han considerado otros casos murcianos similares, aunque de menores dimensiones, como el de Tiñosa, en Beniaján o el Bco. del Zoco, en Guadalupe. De todos ellos se tienen referencias bibliográficas, incluso con cartografía del sistema en algunos, y se han podido localizar y visitar los elementos que todavía perduran. Se trata de sistemas que no se utilizan o que están casi desaparecidos.

Estos conos de deyección guardan todos ellos relación con las fallas de la fosa tectónica del Guadalentín-Bajo Segura. En conjunto, este eje hundido forma parte del conjunto de fosas tectónicas interiores del *rifting* europeo (equivalente, por tanto, a otras como la fosa tectónica Teruel-Alfambra, la de Ayora, o incluso las del Ródano), con manifestaciones volcánicas cercanas (vulcanismo del Mar Menor) y con fallas todavía activas (terremoto de Lorca, 2011; terremoto de Almoradí, 1829, también denominado de Torre vieja o de Guardamar).

Muchos de los conos de deyección, entre ellos los de mayores dimensiones (Totana, Lorca, Puerto Lumbreras...), están situados sobre las fallas del NW de la fosa tectónica, en el tramo entre Murcia y Puerto Lumbreras. Se trata del escalón principal, y el que pone en contacto la amplia zona montañosa del interior murciano (por ejemplo, la Sierra de Espuña) con el valle del Guadalentín. Los desniveles creados por las fallas son de gran magnitud y las cuencas de recepción de barrancos y ramblas pueden extenderse hacia el W. Ello genera grandes conos de deyección cuando llegan al corredor tectónico, como los de la Rambla de Totana, la rambla de Nogalte o el propio cono del Guadalentín (fig. 5.2).

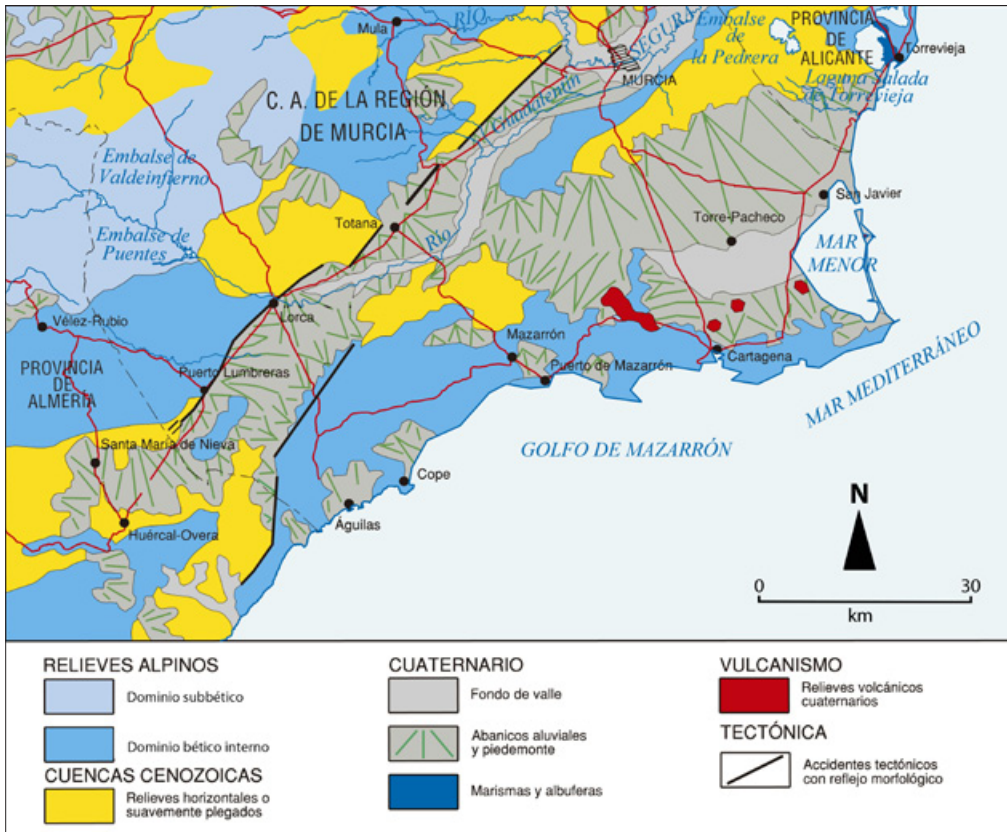


Figura 5.2: Esquema morfoestructural del valle del Guadalentín y Bajo Segura, y alrededores, donde se ubican los sistemas analizados de boqueras en conos de deyección.

Fuente: IGME (2004).

Las fallas antitéticas del borde SE tienen menores saltos y un antepaís menos extenso (Sierra de Carrascoy, Sierra de la Cresta del Gallo), con barrancos que tienen cuencas de menor dimensión, pero también dan lugar a numerosos conos, más pequeños. La prolongación de la fosa tectónica a partir de Murcia se hace también con nítidos escalones, sobre todo el del Sur. Esta “falla del Bajo Segura” es la que encauza el río desde Murcia hasta su desembocadura en Guardamar. Es también un escalón activo, responsable del terremoto de 1829, con máximos efectos catastróficos en Almoradí, aunque también pudieran participar roturas de fallas colindantes, como la de San Miguel de Salinas (García Mayordomo y Martínez Díaz, 2006, p.22).

Los ejemplos analizados en este apartado están localizados, dos de ellos, en conos de las fallas NW del corredor del Guadalentín (Lorca y Guadalupe) y otro en la del Bajo Segura (Beniaján).

5.2.1.1. Boquera de Tiata (Lorca)

El sistema de boqueras de Tiata, en Lorca (Murcia), es en realidad un gran sangrador del río Guadalentín, que detrae sus aguas (presa de Los Sangradores) cuando éste accede al valle. Las aguas de avenidas son derivadas a un gran canal,

denominado Rambla de Tiata, que las dirige hacia el S y SE. Su existencia ya aparece mencionada en los repartimientos de Lorca del S. XIII, como apunta Torres Fonte (1977, p.77) y probablemente beneficiaba unas 1.200 ha de cultivo de aguas perennes y turbias (Pérez Morales, 2010, p. 270). Según Gil Olcina (2016, p.139) se trata del mayor boquerón del SE ibérico, con una red de distribución de aguas de avenida que alcanzaba 4.157 ha.

El sistema arranca justo en la zona apical del gran cono de deyección. Se emplaza en su parte sur, dado que el cauce del Guadalentín está encajado en mayor medida en la parte N del abanico aluvial. El río presenta terrazas fluviales holocenas y tramos de cauces abandonados (lo que denota su gran actividad hidrodinámica), y compartimenta el abanico de modo bastante disimétrico, con una porción mucho más pequeña al N y muy amplia al S.

Para analizar el acople entre el sistema radial de canales y el medio natural hemos utilizado la cartografía geomorfológica 1:50.000 del IGME y la cartografía de “cauces de riego” de la huerta de Lorca, realizada por Pocklington (1985, p.467), sin considerar las que no parten de la Presa del Sangrador (fig. 5.3). Dada la difícil georreferenciación del esquema de acequias de Pocklington, nos hemos ayudado de la red de acequias de la cartografía del Mapa Topográfico 1:25.000 del IGN.

El sistema de acequias de riego que parte de los pantanos de Puentes (o de tomas directas del río) es más complejo, con acequias siempre en la margen derecha (como las de Alcalá, Sutullana...) y otras en la margen izquierda. Las acequias de la izquierda llegaban al partidor de Tercia, en el que un tercio de las aguas seguía por la margen izquierda y el resto cruzaba el álveo del río para regar la mayor parte del cono de deyección (su parte sur), a través del canal de turbias denominado Rambla de Tiata.

El problema de los riegos de aguas claras, según Gil Olcina (2016, p.138), era el de sus exiguas e irregulares dotaciones, lo que se intentó solucionar suplementándolas con riegos de turbias. El diseño del Boquerón de la Rambla de Tiata tenía también la función de disminuir el riesgo de riadas y aluvionamientos en la ciudad de Murcia. Las boqueras del cono de deyección (Tercia, Marchena y Tiata) tenían capacidad de derivar 250 m³/seg (Gil Olcina, 2016, p. 213) y sólo la de Tiata, una capacidad de 130 m³/seg (*op. cit.* p. 211).

Los dos boquerones del sur, Marchena y Tiata, tienen un origen común, pero *“tomando un canal á su orilla derecha, (el agua) viene a parar, en el sitio llamado los Tres-puentes, a un partidor que lleva este mismo nombre, donde se subdivide en dos partes, una que sigue al frente por el cauce entendido por la Rambla de Tiata y otro que, girando a la izquierda, va por el nombrado la Bóveda.”* (el de Marchena) (Musso y Fontes, 1847, p. 27). Hoy en día, las compuertas mecánicas que controlan la derivación de las aguas de avenida ya reparten el agua desde su inicio (fig. 5.4).

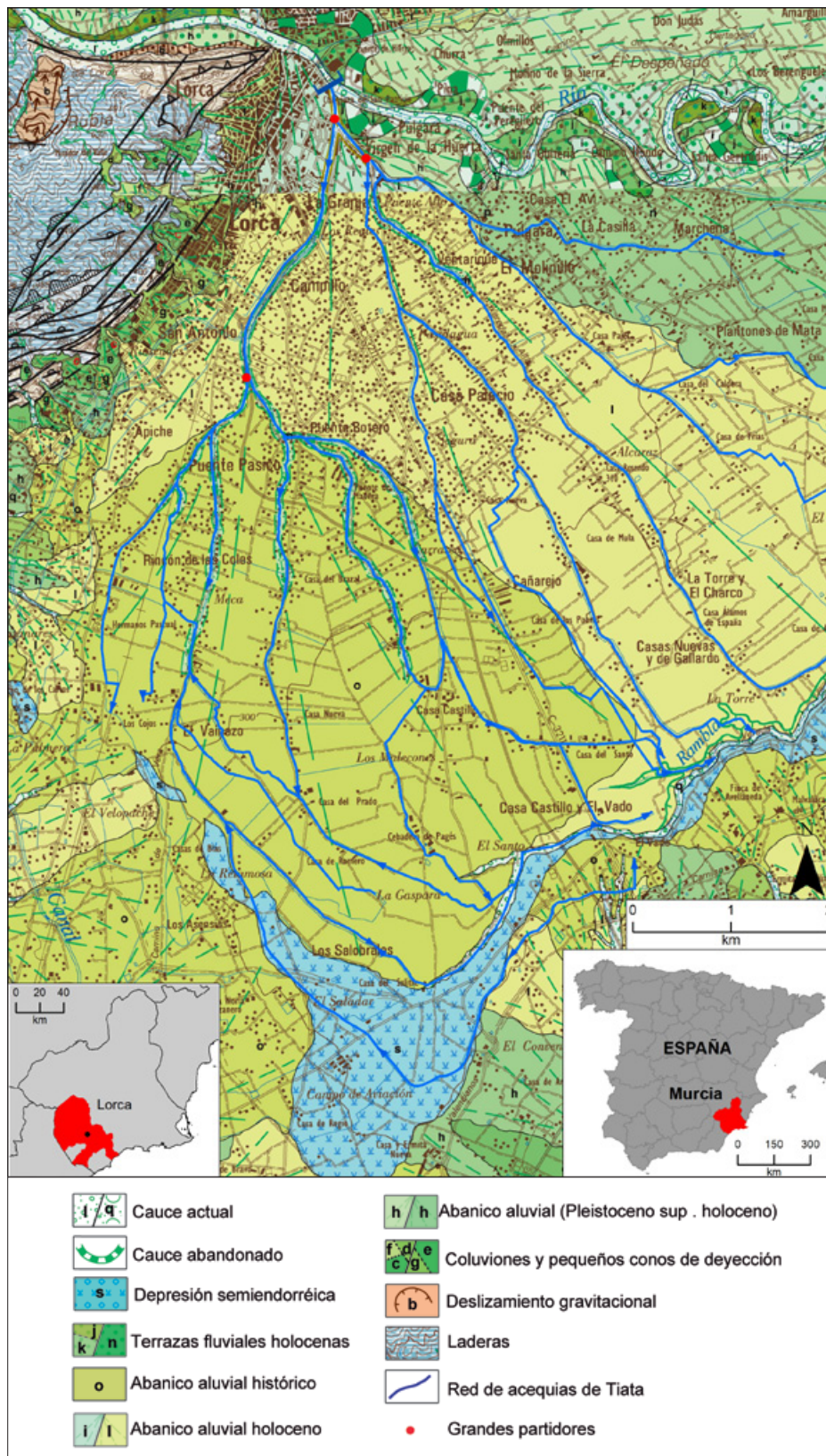


Figura 5.3: Red de acequias de los boquerones de Tiata y Marchena, en el cono de deyección del Guadalentín, en Lorca (Murcia).

Fuente: Elaboración propia, a partir de IGME (2004).



Figura 5.4: Compuertas actuales de los sangradores en el punto de arranque de la Rambla de Tiata (izquierda). El canal de la derecha, independiente, deriva las aguas hacia el sistema de Marchena (la Bóveda).

Fuente: Autor.

Sean considerados como dos o un único sistema, en todo caso ocupan espacios diferentes del cono de deyección. El de Marchena se subdivide pronto en los partidores de Bóveda y de Cabeza (del que sale, entre otras, la acequia propiamente dicha de Marchena), y forma una red radial que se dirige hacia el SE y ocupa el abanico holoceno del Guadalentín y parte del Pleistoceno superior-Holoceno). El de Tiata canaliza toda el agua por la rambla, durante casi tres kilómetros, y se bifurca entre el canal de los brazales de las Zahurdas, del Pozo o la Cuadrilla (izquierda) y el canal de los de Enmedio, Cañaverl, Nuevo, etc. (derecha) (fig. 5.5 A). Este punto de bifurcación coincide con la zona apical del que es considerado como cono de deyección histórico por el mapa geomorfológico del IGME, lo que parece apuntar a que este cono ha sido construido con los aluviones de los derrames históricos del sistema de Tiata.

Los dos sistemas van subdividiéndose (fig. 5.5 B) en brazales e hijuelas de menor entidad, cuyos márgenes finalmente son de tierra (fig. 5.5 C), y en los que todavía se pueden observar los marcos para las tajaderas (fig. 5.5 D), que permiten elevar el agua e introducirla en los campos de cultivo.

Al final del sistema, las aguas se acumulan en la zona semiendorreica del Saladar (fig. 5.3). Esta depresión ha sido generada por la obturación que produce el gran cono de deyección del Guadalentín confrontado con el de la Rambla de Purias, que procede de la margen oriental de la fosa tectónica. Esta zona también recoge parte de las aguas de la Rambla de Nogalte, que se bifurcan hacia el Norte y hacia el Sur en su propio cono de deyección. Estas aguas, recogidas por la Rambla de Biznaga, vuelven otra vez al Guadalentín, pero retardadas, lo que disminuye el riesgo de las avenidas del Guadalentín en Murcia. De todos modos, como señala Gil Olcina (2016, p. 139) la

disminución del riesgo que el sistema de Tiata supone para Murcia se hace a costa de aumentarlo en su zona de derrame, como ocurrió en la riada del 22 de octubre de 1948, que ocasionó cuantiosos daños, sobre todo, en la pedanía de Campillo.



Figura 5.5: A) La bifurcación de la Rambla de Tiata entre el canal de los brazales de las Zahurdas, del Pozo o la Cuadrilla (izquierda) y el canal de los de Enmedio, Cañaveral, Nuevo, etc. (derecha). B) Bifurcación entre la Acequia de Enmedio (derecha), y las de Cañaveral y Canal Nuevo (izquierda). C) Acequia de Cañaveral, con márgenes sobreelevados de tierra. D) Tajadera en la Acequia de Cañaveral.

Fuente: Autor.

5.2.1.2. Boqueras de Tiñosa (Beniaján) y de la Presa de Guadalupe

La Boquera de Tiñosa, en Beniaján (pedanía de Murcia), se emplaza en un cono de deyección de medianas dimensiones, generado por la Rambla del Puerto del Garruchal, en el piedemonte de la Sierra de la Cresta del Gallo. De la margen izquierda de esta rambla, a la altura de la Kábila, la boquera extendía toda una red de riego de avenida sobre el propio cono de deyección de la rambla (Gómez Espín, 1999, p.99).

La rambla se emplaza en la parte derecha de su cono de deyección (al E), como consecuencia de que su último proceso de avulsión, antes del encajamiento de la red actual, la ubicó en este sector. Tras este desplazamiento, la rambla ha seguido construyendo un abanico holoceno (según la cronología del mapa geomorfológico 1:50.000 de Murcia, hoja 934, IGME, 2004), superpuesto en parte al cono del Pleistoceno superior, pero mucho más al N. Esto es común a muchos de los conos de deyección de mayor entidad. Ocurría en el caso estudiado en el subapartado anterior del abanico del Guadalentín, y también se puede observar en el cono de deyección de la Rambla del Zoco, o del Cabezo Blanco, en Guadalupe (fig. 5.7).

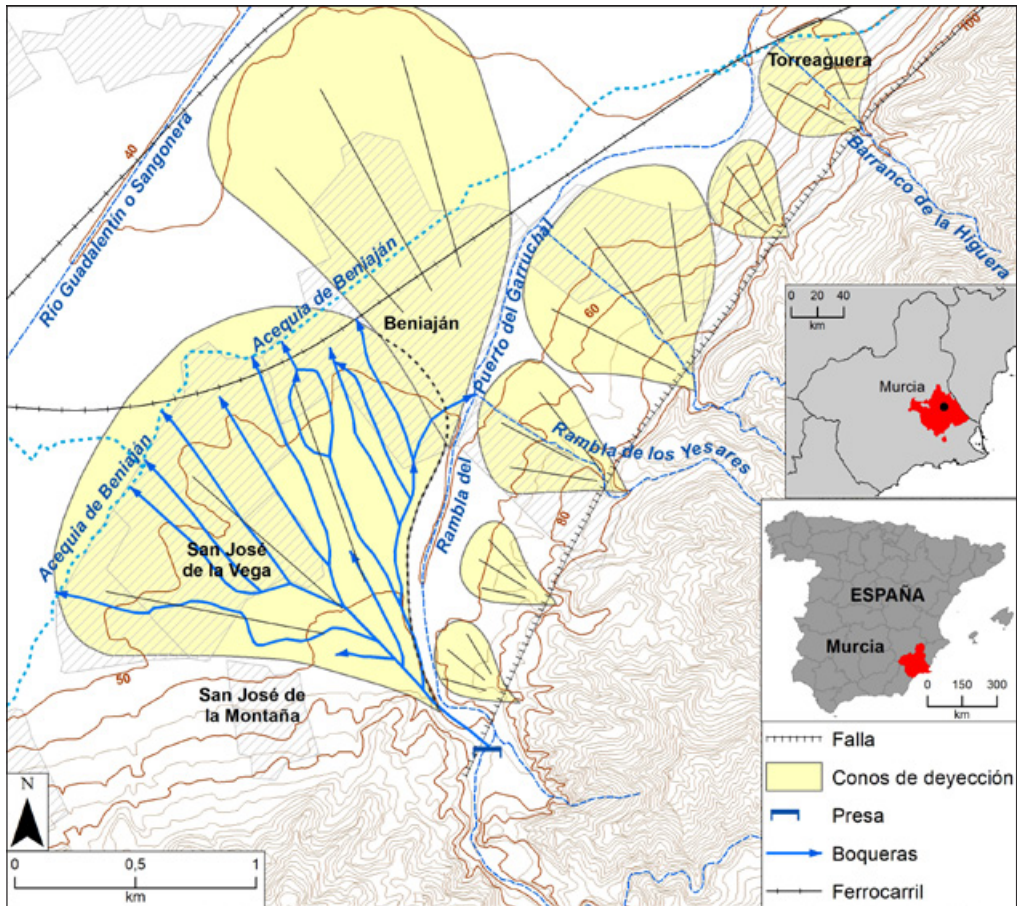


Figura 5.6: Esquema geomorfológico de la boquera de la Tiñosa. Se ha superpuesto la red de acequias (tomada de Morales, 1969).

Fuente: Elaboración propia.

El hecho de que el cono de deyección de la boquera de Tiñosa no esté partido por el barranco que lo ha generado, pone a disposición del sistema de acequias toda su superficie, y permite que haya una única derivación. Esto diferencia este sistema del de la boquera del azud de Guadalupe, en el que el agua es derivada por dos extremos (Gil Meseguer, López Fernández y Gómez Espín, 2015, p. 168).

En el sistema de Guadalupe, el cauce principal genera un cono pleistoceno, que deja a su derecha, pero la presa de derivación del agua se ubica más abajo, en la zona apical del cono holoceno, solapado al anterior y situado al NE. Ello es debido, posiblemente, a la escasa entidad del cauce y de sus avenidas, cuyas aguas no permiten el riego de todo el espacio (hasta la senda de Granada, según Gil Meseguer, López Fernández y Gómez Espín, 2015, p.163). El canal principal, entre los dos conos, puede repartir su agua a derecha e izquierda, lo que justifica que el azud tenga dos salidas (fig. 5.8). En la boquera de Tiñosa, por el contrario, la mayor entidad de la rambla permite que el sistema radial de acequias ocupe la totalidad del cono pleistoceno. Esto se observa si se superpone el esquema de acequias (fig. 5.6), tomado de Morales (1969, p.175), sobre la cartografía geomorfológica.

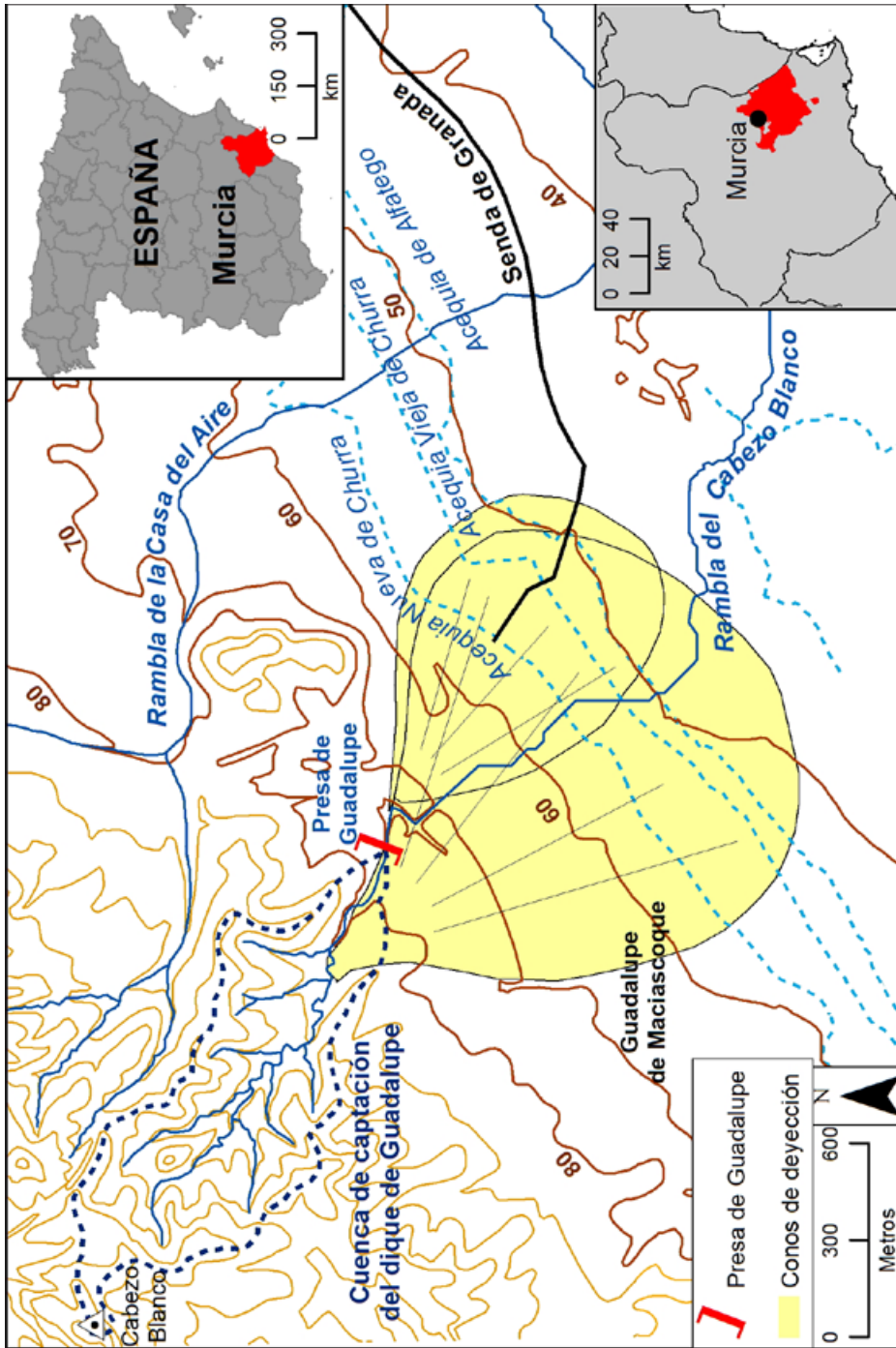


Figura 5.7: Esquema geomorfológico de la boquera de Guadalupe. Se observan dos conos de deyección y que la presa se ubica aproximadamente en el punto apical del cono más moderno.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.8: Azud de Guadalupe, en el barranco del Zoco o Cabezo Blanco, entre las pedanías de Espinardo y Guadalupe de Maciascoque (Murcia).

Fuente: Autor.

A diferencia del sistema de Guadalupe, en el caso de la boquera de Tiñosa todavía puede reconocerse parte de la red de acequias, sobre todo en su tramo alto, pues el bajo ha sido ocupado por la expansión urbana de la pedanía de Beniaján. También se ha modificado la toma de aguas desde el cauce principal, situado aguas arriba del ápice del cono de deyección, pero todavía se conserva parte del tapial del tramo de acueducto que lleva el agua, desde la toma de aguas, al inicio de la red de distribución de acequias. Señala Gómez Espín (1999, p.99) que, a causa del abandono de los regadíos tradicionales que dependían del caudal derivado a través la boquera de Tiñosa, y por el cambio de usos del suelo de rural a urbano e industrial, la Confederación Hidrográfica del Segura tuvo que reducir el tamaño de la toma de esta boquera.



Figura 5.9: Restos del tapial que salva el desnivel entre la Rambla de Puerto de Garruchal y el canal principal de la boquera de Tiñosa.

Fuente: Autor.



Figura 5.10: Bifurcación en la acequia principal del sistema de boqueras de Tiñosa.
Fuente: Autor.

Pero todavía quedan unos pocos agricultores que aprovechan el sistema en sus parcelas de cultivo, y que nos proporcionan las claves de su funcionamiento. En una entrevista realizada por el grupo de trabajo “*Conociendo Beniaján a través de sus redes de riego*” (Nicolás, 2016), los hermanos Antonio y Pepe García Tovar, que todavía aprovechan esta red de riego, relatan las dificultades que supone mantener estos sistemas cuando la mayoría de los usuarios ya los han abandonado. Manifiestan su baja rentabilidad económica general y las claves de que merezca la pena aprovechar las aguas: “...tú ves bajar la rambla 6-7 veces al año, y dices jesto lo aprovecho! Pero si la ves bajar una vez cada dos años, no se te ocurre...”. En otras palabras, la frecuencia de situaciones de lluvias intensas que produzcan escorrentía en la rambla es uno de los elementos clave.

5.2.2. Mgoud de Belkhir (Belkhir-Gafsa)

Se trata de un conjunto de sistemas de aprovechamiento de las aguas de escorrentía concentrada en el Oued el Akssaab antes y después de su afluencia con el Oued el Kreroua, en la localidad de Belkhir, en la homónima delegación de la gobernación de Gafsa. Se localiza a unos 65 km de la ciudad de Gafsa, yendo por la carretera nacional “P15”, que une Gabes con Gafsa.

Se puede dividir el conjunto de sistemas en dos partes principales. La primera es la alta, que comprende todos los *mgoud* antes de la confluencia del Oued el Kreroua con el Oued el Akssaab y las siguientes dos *mgoud* hasta la carretera. La segunda parte comprende el resto del sistema aguas abajo.

5.2.2.1. Contexto ambiental, estructural y geomorfológico

Los *mgoud* de Belkhir son un ejemplo más de los numerosos casos de *mgoud* que se emplazan sobre los conos de deyección de los *djebel* de la zona de Gafsa (Dj. Chemsí, Dj. Belkhir, Dj. Orbata, Dj. Berda, etc). En toda la región se combinan unas condiciones de aridez, torrencialidad mínima y contextos geomorfológicos favorables, que hacen que sea el sistema casi exclusivo de *water harvesting*, junto con los sistemas de *jessour*. La precipitación media anual alcanza unos 220 mm (según El Melki, 2008, p. 16), y la de torrencialidad de las lluvias registra valores de unos 30 mm de lluvia máxima diaria, con un periodo de retorno de 2 años, o de 50 mm en 5 años (según Ben Sakka y Boughrara, 2008, p. 22). Son lluvias máximas poco cuantiosas, pero suficientes para hacer funcionar la escorrentía de los barrancos cuya cuenca se ubique en el interior de los *djebel*. En la cercana Gafsa, que tiene precipitaciones un poco menos cuantiosas, se alcanzaron 108'7mm en el temporal del 21 de enero de 1990 (Hlaoui, 2008, p. 25).

El contexto geomorfológico, hidrológico y topográfico adecuado para el emplazamiento de estos sistemas está condicionado por las características geológicas y estructurales de toda la zona: la franja más meridional de pliegues del Atlas (apartado 1.3.2.A y figs. 1.7 y 1.12).

Estos *djebels* son casi todos ellos anticlinales cretácicos asimétricos, tumbados hacia el SE y desventrados. El empuje que los ha formado (el mismo que levanta la zona axial del Atlas) los tumba en dirección contraria a la del esfuerzo, algo normal en todas las cordilleras alpinas, en las que los pliegues externos son casi siempre vergentes hacia afuera. En el caso del Dj. Chemsí, del que vienen los barrancos y arrancan los conos de los sistemas estudiados aquí, además, el pliegue es cabalgante. La fallas inversas que lo han formado han estado todavía activas en el Pliocuaternario (Trigui *et al.* 2016, p. 706), y han ido levantando el pliegue poco a poco. Esto provoca continuas readaptaciones de la red fluvial, desplazamientos del punto apical de los conos y sucesivas generaciones de conos de deyección (fig. 5.13).

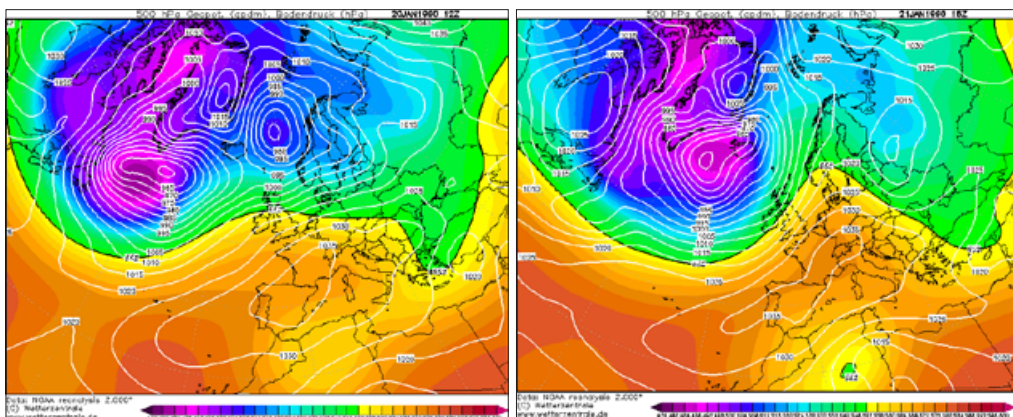


Figura 5.11: Situación sinóptica correspondiente al episodio de lluvias más intenso ocurrido en Gafsa (21 de enero de 1990). El día anterior se observa el estrangulamiento de una DANA al sur del Atlas, y el día de máxima precipitación, una fuerte advección de levante.

Fuente: www.wetterzentrale.de.

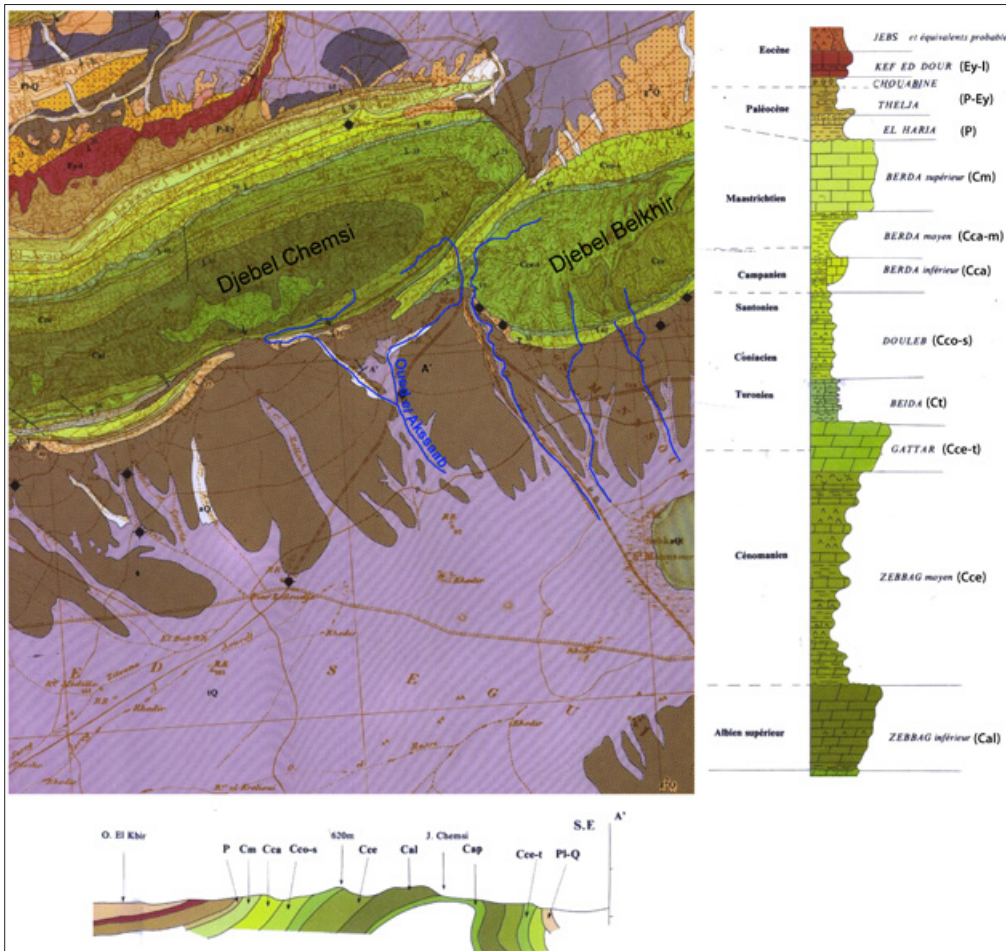


Figura 5.12: Contexto geológico de los *djebels* de Chemsí y Belkhir, y del piedemonte de la zona de Belkhir. Se observa que se trata de pliegues cretácicos vergentes hacia el SE, con un piedemonte de conos de deyección.

Fuente: Adaptado a partir de INRST (1991).

El resultado final es que las caras meridionales de los *djebels* tienen, casi todas, un piedemonte continuo de conos coalescentes, y que los más recientes son conos activos, con un canal muy somero antes de la zona de derrame, del que es muy fácil detraer agua con una simple barrera.

Otro elemento favorable es la fácil penetración de las cuencas de los barrancos más importantes dentro de los anticlinales. En esencia, es debido al carácter alternante de la serie cretácica, con muchos pisos de litologías fácilmente erosionables (e impermeables). El tipo de relieve de estos *djebels* es de estilo jurásico, con grandes *combes*, y toda la serie de formas estructurales asociadas a este estilo (*cluses*, *chevrans*, crestones, etc.). Los barrancos que han conseguido penetrar en el *djebel* acaban erosionando sus materiales, tienen cuencas de dimensiones notables,

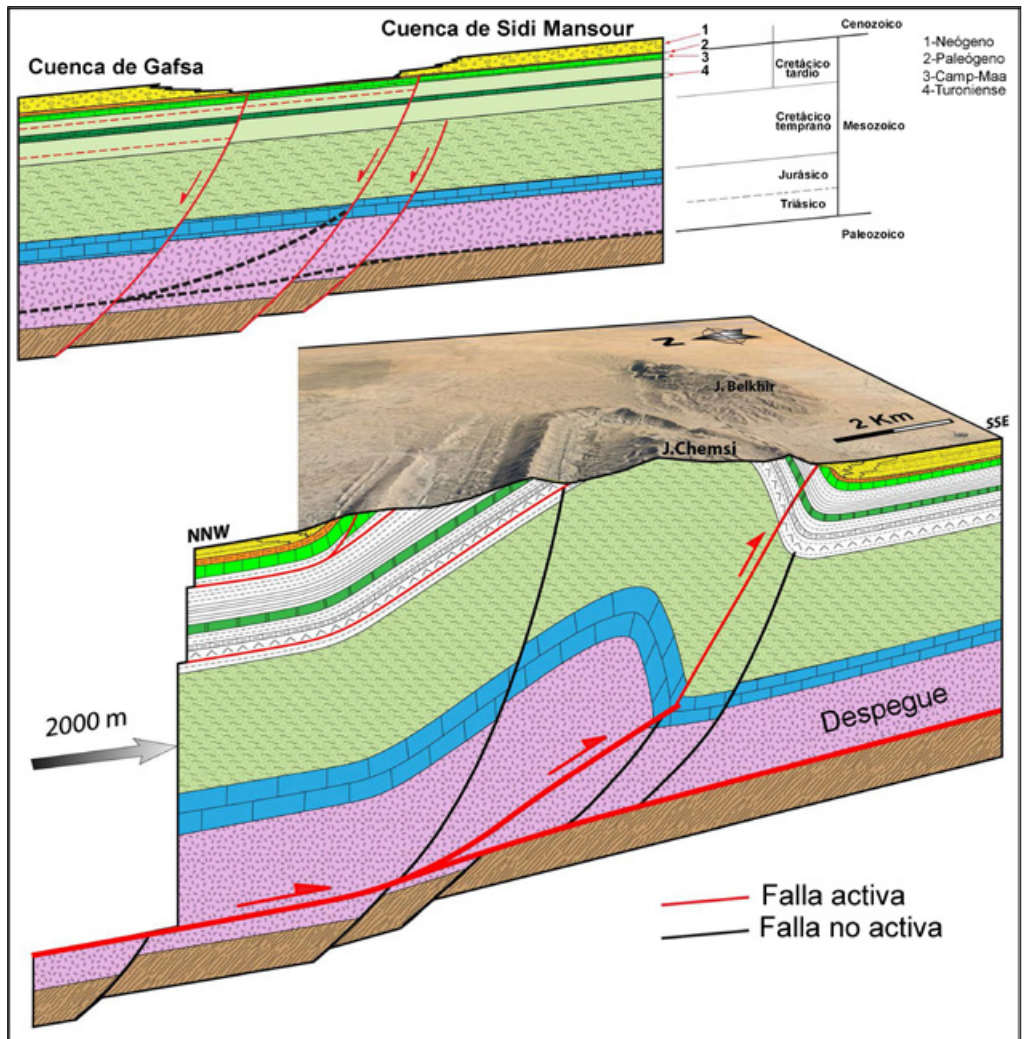


Figura 5.13: Esquema estructural del pliegue cretácico del Dj. Chemsí, con la capa de despegue triásica y su sistema de fallas inversas.

Fuente: Adaptado a partir de (Trigui *et al.* 2016, p. 720).

acarrean gran cantidad de aluviones... Y se encuentran siempre con una ruptura de pendiente muy favorable para formar los conos, que, además, en algunos casos, se está recreando continuamente, como ocurre en la cara SE del Dj. Chemsí.

El sector estudiado participa de estas características. En el esquema geomorfológico de la figura 5.14 se observan todos estos elementos: en la montaña, elementos estructurales propios de los anticlinales erosionados en estilo jurásico (crestones, *chevrons*...) y sectores de *badlands*, que denotan rocas blandas; en el piedemonte, conos coalescentes solapados, de varias generaciones, y una red que derrama su escorrentía antes de llegar a la *sebkha*.

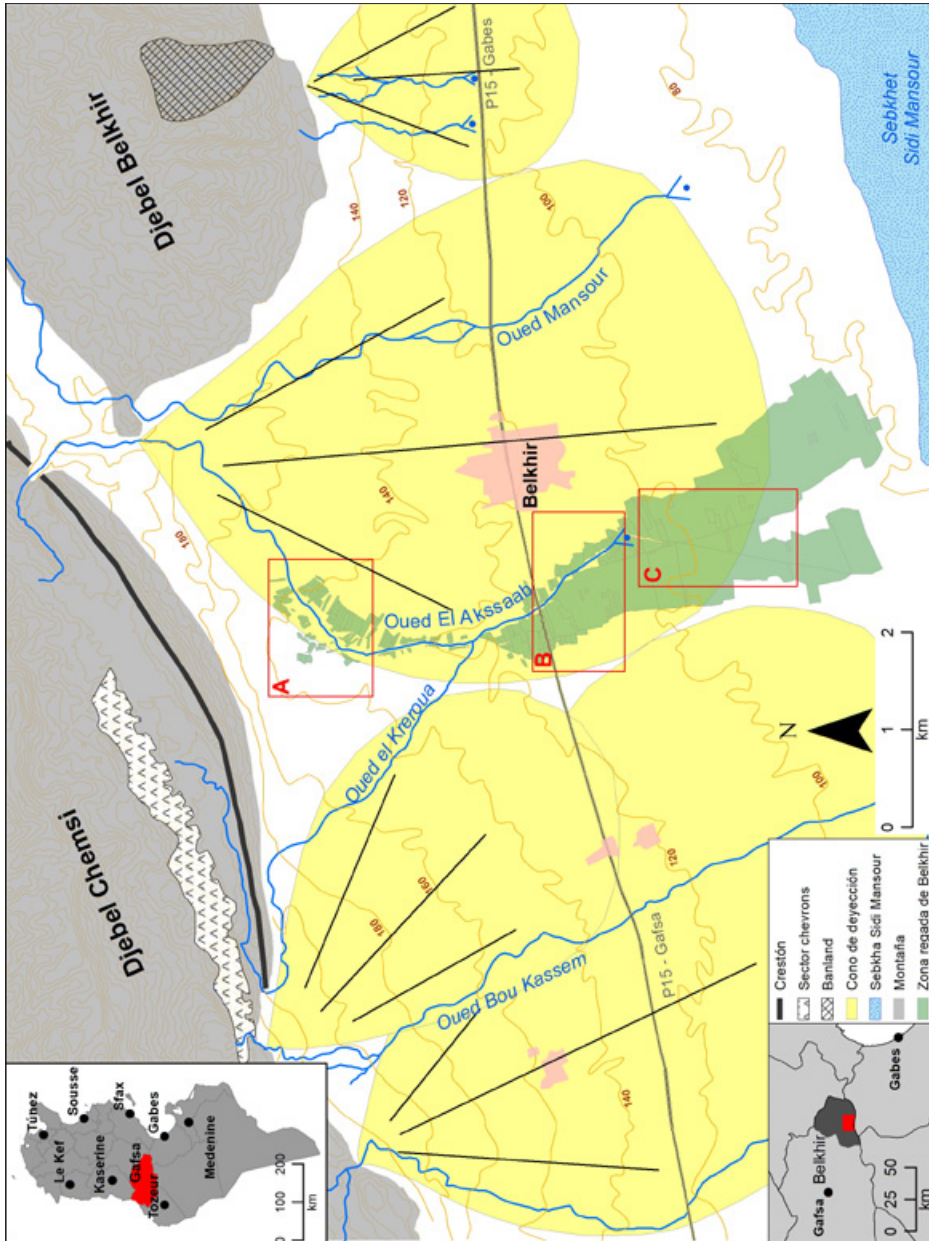


Figura 5.14: Esquema geomorfológico del piedemonte de los Dj. Chemsí y Belkhir, con las boqueras del Oued el Akssaab, en Belkhir (Gafsa, Túnez).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2. Descripción del sistema

Como señalábamos en la introducción a este apartado 5.2.2, el conjunto de *mgoud* del Oued el Akssaab presenta dos partes. La parte alta se caracteriza por tener tomas de agua con acequias, que la conducen hasta los campos de cultivo. La parte baja, por el contrario, prescinde casi totalmente de las acequias, pues las represas vierten directamente el agua a los campos de cultivo. Estas represas de toma de agua son mucho más numerosas y de menor entidad (fig. 5.15).

La parte alta, hasta la confluencia con el otro *oued*, toma el agua del barranco a través de 10 represas (fig. 5.16), seis de ellas en la margen derecha y las cuatro restantes en la izquierda. Cada toma, o como se denomina localmente “*maglab*”, recibe el nombre de la familia propietaria de los campos a los que abastece.

Las primeras cuatro tomas en la margen derecha tienen el nombre de la familia Hasan Ben Mohamed, y las otras dos de la misma margen son de la familia Belgasem Ben Ali (fig. 5.17). Las tomas de la margen izquierda abastecen a los campos de la familia de Ouled Dou.

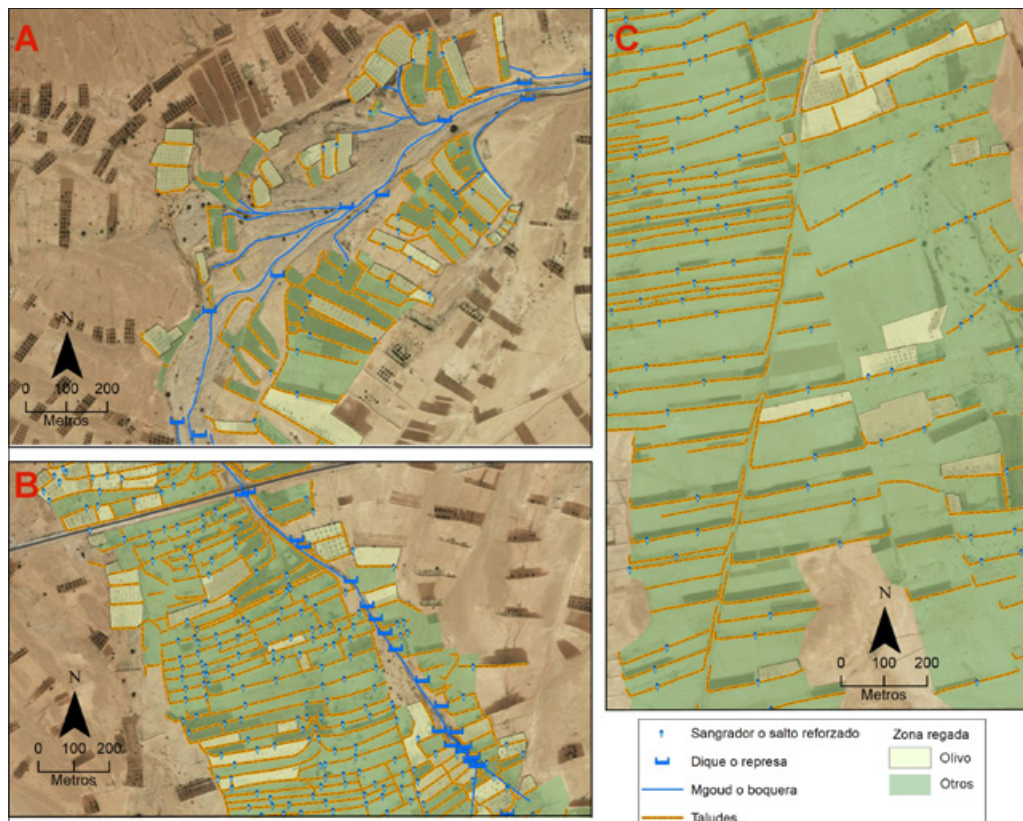


Figura 5.15: Ejemplos de organización de los *mgoud* en tres sectores del sistema (indicados en la fig. 5.14): A) Sector de boqueras con tomas de agua desde el cauce, conducida por acequias; B) Parte superior del tramo bajo, con tomas directas desde el cauce; C) Parte inferior del tramo bajo, con tomas desde un camino o uso directo en la zona de derrame del cauce principal.

Fuente: Elaboración propia.

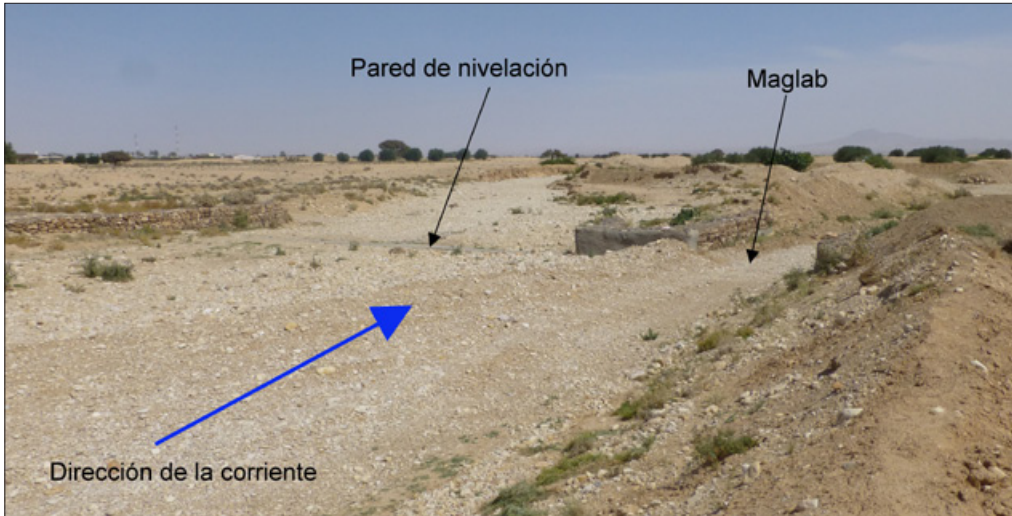


Figura 5.16: *Maglab* de Ouled el Haj el Soui. Obsérvese la pared de nivelación en el centro del *oued* y el *maglab* en la margen derecha, de tipo “malecón”. Belkhir, en Gafsa, Túnez.

Fuente: Autor.



Figura 5.17: Entrada del *mgoud* de Belgasem Ben Ali en los campos de olivo. Obsérvese la vegetación y la acumulación de piedras como una medida para disminuir la velocidad de la corriente de agua con el fin de proteger los campos de la erosión. Belkhir, en Gafsa, Túnez.

Fuente: Autor.

Las aguas captadas por los *magaleb* (plural de *maglab*) son conducidas, mediante acequias de tierra, sin ningún tipo de revestimiento, a los campos de cultivo, que a su vez están divididos en parcelas alargadas, separadas con taludes de tierra sobrelevados. Se dirige el agua de un campo al siguiente mediante un salto reforzado (*manfas*).

En el caso de que haya un exceso de agua, los sobrantes retornan al cauce principal.

En total, la superficie regada en toda la parte alta es de 34'3 ha, de la cuales 15 ha se dedican al olivo, y 19'3 a otros cultivos.

Pasada la confluencia con el Oued el Kreroua, el *mgoud* de Ouled el Haj Saoui parte por la margen derecha para regar unas 19 ha al norte de la carretera, y los sobrantes de agua atraviesan la carretera mediante un conducto para abastecer a otras tres hectáreas. En la margen izquierda, unas 2'7 ha reciben agua por la toma de Ammar Ben Ali, que devuelve los sobrantes al mismo barranco.

La segunda parte empieza al sur de la carretera donde se divide el *oued* en dos ramales, el derecho, con una única toma, propiedad de la familia de Ouled el Haj, riega aproximadamente una superficie de 200 ha, sin una red de acequias para conducir las aguas, de modo que el agua salta de un campo a otro a través de una serie de sangradores reforzados (fig. 5.18).

El otro ramal recibe el nombre de la familia que posee el derecho de aprovechamiento de sus aguas (Ouled Manssour). En este tramo unos 18 *magaleb* aprovechan la totalidad del *oued* (fig. 5.15.B).

A partir de este tramo el Oued el Akssaab ya no tiene un cauce definido (fig. 5.15.C). La superficie regada alcanza las 227 ha. Las aguas son conducidas, principalmente, por un camino que atraviesa la zona regable en diagonal, y entran directamente a los campos. Pero también hay un sector en el que parte del agua del *oued* se derrama de forma difusa y salta de campo en campo en las pocas ocasiones en que consigue llegar hasta allí.

En la parte baja del sistema, donde las aportaciones de agua no son seguras todos los años, escasean los campos de olivos y dominan los cultivos herbáceos y legumbres. Es la adaptación necesaria para que el diseño del sistema de boqueras se haga "a máximos".



Figura 5.18: Sangrador o *manfas* en el *mgoud* de Ouled el Haj de Belkhir en Gafsa, Túnez.
Fuente: Autor.

5.3. APROVECHAMIENTO EN TERRAZAS Y GLACIS

La diferencia esencial entre el ámbito geomórfico de cono de deyección y los de terrazas y glacis, a efectos de emplazamiento de sistemas de boqueras, reside en la geometría de la superficie de cada ámbito. En un corte transversal, los conos de deyección tienen topografías convexas, los glacis, topografías planas u onduladas, mientras que las terrazas son planas o cóncavas. En el caso de los conos de deyección, si el agua se derrama en su zona apical, ya no regresa al cauce. Es así como se forman, con procesos de avulsión. En las terrazas bajas de los cursos fluviales, el agua retornará al cauce más pronto o más tarde.

Este hecho condiciona el tamaño y la estructura de los sistemas de boqueras. En los conos de deyección es posible captar toda el agua del curso fluvial y desparramarla por buena parte de su superficie. En el caso del cono de deyección del Guadalentín en Lorca, o en el del Bco. del Puerto del Garruchal en Beniaján, los cursos fluviales están desplazados a izquierda y derecha del curso fluvial, respectivamente (posiblemente porque la última avulsión que tuvieron, antes del encajamiento actual de la red fluvial, se produjo por allí). Esto les deja libre todo el espacio del cono como superficie susceptible de ser regada con boqueras. En el cono del Oued el Akssaab, en Belkhir, sucede más o menos igual. Esto determina, como señalábamos en el apartado anterior (5.2), que estos sistemas sean grandes y tengan una estructura radial.

Los sistemas analizados en este apartado, por el contrario, suelen ser pequeños. Normalmente tienen dos elementos limitantes: por una parte, el tamaño de la superficie en la que se emplaza el aprovechamiento de las aguas turbias, y en segundo lugar, la propia entidad del curso fluvial del que se detrae el caudal. Por ello, suelen ser aprovechamientos parciales del agua, de tamaños reducidos, pero, en contrapartida, mucho más numerosos, porque todo lugar puede ser apropiado, *a priori*.

5.3.1. Bhira y Ahimeur (Benikhdech-Medenine) y Ouarifene (Mareth-Gabes)

En el caso de Túnez se han elegido ejemplos de *mgoud* en tres sectores, localizados entre Gabes y Medenine: en los *ouediane* de El Djedari, El Gutar y Ahimeur, en la delegación de Benikhdech, de la gobernación de Medenine, y en el Oued Ouarifene, en la delegación de Mareth, de la gobernación de Gabes. En el trabajo de campo se han localizado y cartografiado en detalle varios *mgoud* en cada localización: 6 en Bhira, 8 en Ahimeur y 6 en Ouarifene. Se trata de una simple muestra de la cuantiosa cantidad de *mgoud* existentes. La mayor parte de ellos son sistemas muy reducidos que detraen una porción más o menos pequeña de caudal y que conducen el agua hasta las parcelas de cultivo con canales de pocos metros de longitud. El interés del muestreo realizado y de las localizaciones elegidas está en que permiten comprender el papel preciso de este sistema en convivencia con otros, como las *tabias* en glacis y los *jessour*.

Tabla 5.1: Superficies regadas por los *mgoud* en las zonas estudiadas.

Mgoud	Nº de tomas	Superficie media (ha)	Superficie max. (ha)	Superficie min. (ha)
Bhira	6	1'22	2'01	0'54
Ahimeur	8	2'93	7'36	0'41
Ouarifene	6	1'16	2'10	0'72

Fuente: Elaboración propia.

La zona elegida es el piedemonte del Dahar, ya en la llanura de Jeffara. Los sistemas de Ouarifene se sitúan en un cauce de la parte frontal de las montañas, justo antes de que se abra al piedemonte. Los de Bhira y Ahimeur están ya situados en el piedemonte, los primeros, cuando arranca, y los segundos un poco más abajo, pero todavía en la zona alta, al pie de las montañas.

5.3.1.1. Descripción de los sistemas

A- BHIRA Y AHIMEUR

Los sistemas de *mgoud* de Bhira se sitúan en el piedemonte de las montañas del Dj. Mogor, en los alrededores de Bhira, muy cerca de ellas. Ben Fraj (2012, p. 189) considera que todo el piedemonte del arco de Medenine, es un vasto glacis de erosión pleistoceno con glacis de “sustitución” más recientes en la parte baja (por redistribución de los sedimentos) y con una acera de conos de deyección pleistocenos al pie de las montañas de tamaño no demasiado grande. El contexto geomorfológico de los sistemas de Bhira responde exactamente a este esquema: el piedemonte arranca con un cono de deyección de medianas dimensiones construido por el Oued el Hallouf, con la contribución de otros cauces modestos, como el Oued en Nkim; pero pronto da paso a la vasta llanura ondulada, con morfología de glacis de erosión y degradado (por el encajamiento de la red fluvial) (ver fig. 5.19).

Los sistemas estudiados se ubican primero en el Oued el Djedari y continúan en el Oued el Gutar, a partir de su confluencia (ver Anexo III). El Oued el Djedari arranca de la zona apical del cono de deyección de Bhira, y es probablemente un paleocauce de la red radial del cono cuando se estaba formando. Su cabecera es inexistente; empieza ya como vaguada. El Oued el Gutar, por el contrario, tiene una pequeña cabecera en el frente montañoso (sin penetrar apenas en él) y, por tanto, un poco más de entidad. La suma de ambos incrementa sensiblemente la importancia del cauce en la que se instalan los sistemas de *mgoud*.

En la figura 5.20 se han cartografiado los usos del suelo de tres tramos de este sector, que incluyen todos los *mgoud* localizados. En el sector A, el de cabecera del curso fluvial, se observa que no existen sistemas. Es una vaguada ocupada por sistemas continuos de *jessour*, con *tabias* de piedemonte en los interfluvios llanos entre vaguadas y eriales. En el sector central (B), antes de la confluencia entre el Oued el Djedari y el Oued el Gutar, es donde se emplazan casi todos los *mgoud*, pues se ha generado ya un cauce con un pequeño álveo continuo que permite detraer agua fácilmente. Se trata

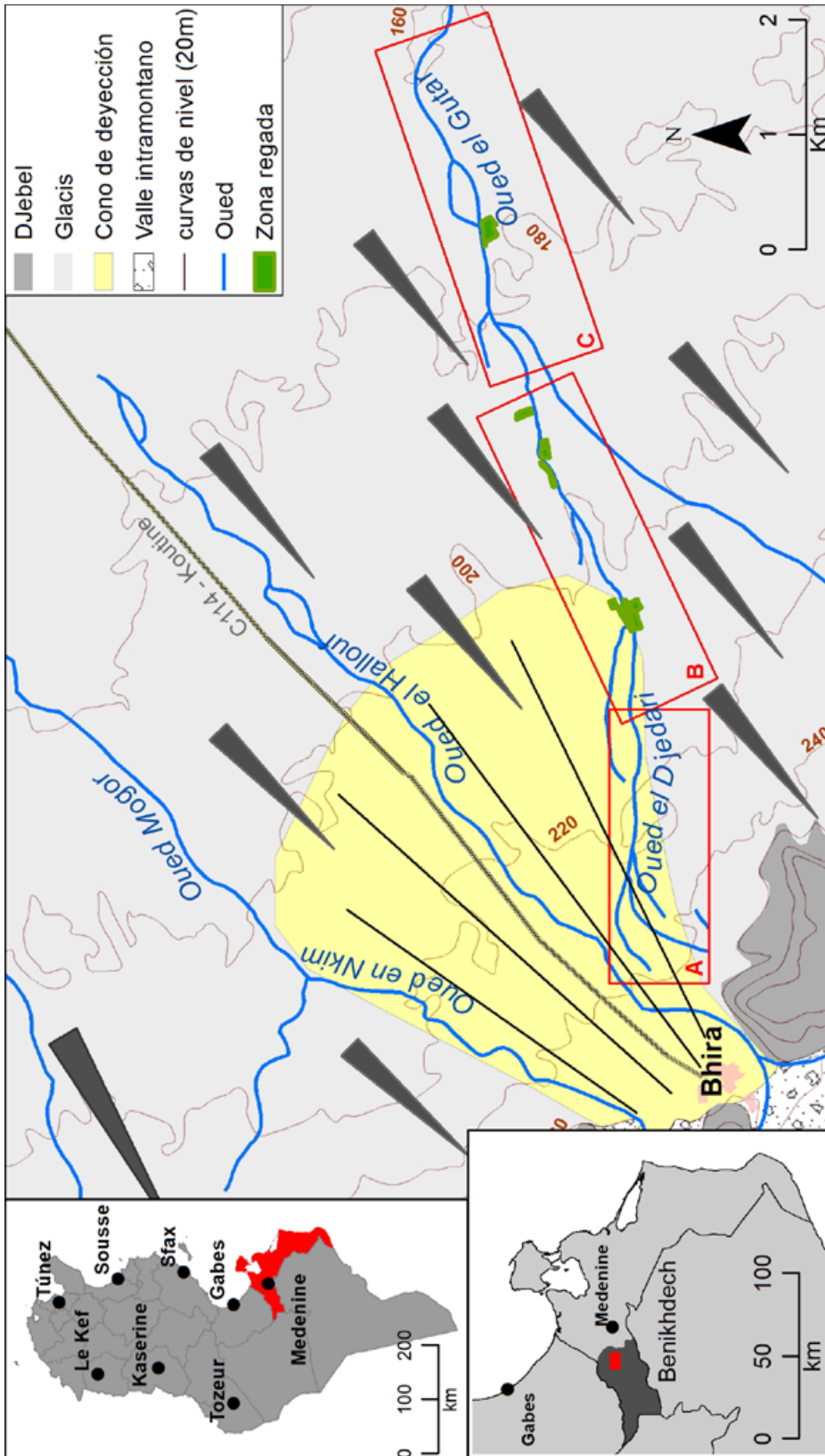


Figura 5.19: Esquema geomorfológico de las boqueras de Bhira en Benikhdech- Medenine, Túnez.
Fuente: Elaboración propia.

de sistemas de muy reducidas dimensiones (tabla 5.1), en ocasiones con una única parcela de cultivo y con pocos saltos entre parcelas. Finalmente, en el sector C, y en el resto de cauce aguas abajo, llegan a emplazarse *mgoud*, pero en menor cantidad. En este tramo el lecho es más amplio y han desaparecido totalmente los *jessour*, incluso los que se observan ocasionalmente en el tramo central.

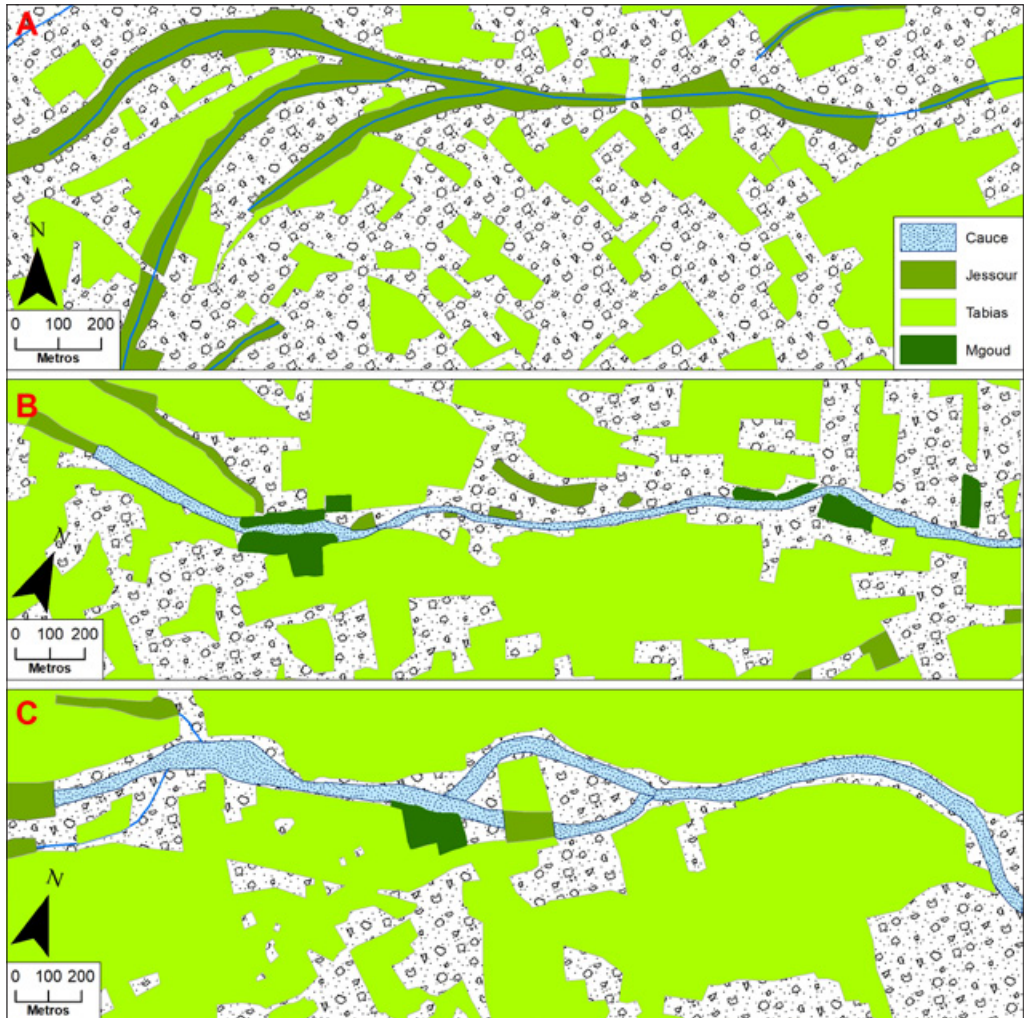


Figura 5.20: Cartografía detallada de usos del suelo de los sectores A, B y C, indicados en la figura 5.19, de los *mgoud* de Bhira, en Benikhdech- Medenine, Túnez.

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, de cabecera hasta el final se observa una coexistencia entre tres o cuatro tipos de sistemas de *water harvesting*, en la que cada uno ocupa su ambiente topográfico e hidrológico más adecuado: *tabias* en superficies de piedemonte (cono o glacis) con escasa pendiente, *jessour* donde se puede recoger algo de escorrentía en las vaguadas menos importantes, y *mgoud* cuando la escorrentía concentrada alcanza mayor volumen y ya no puede ser dominada tan fácilmente. El paso del *jessour* al *mgoud* es gradual (con tramos en los que se alterna *jessour* y cauce) y a la vez nítido (desaparecen totalmente los *jessour* a partir de un punto). Incluso, la disposición de

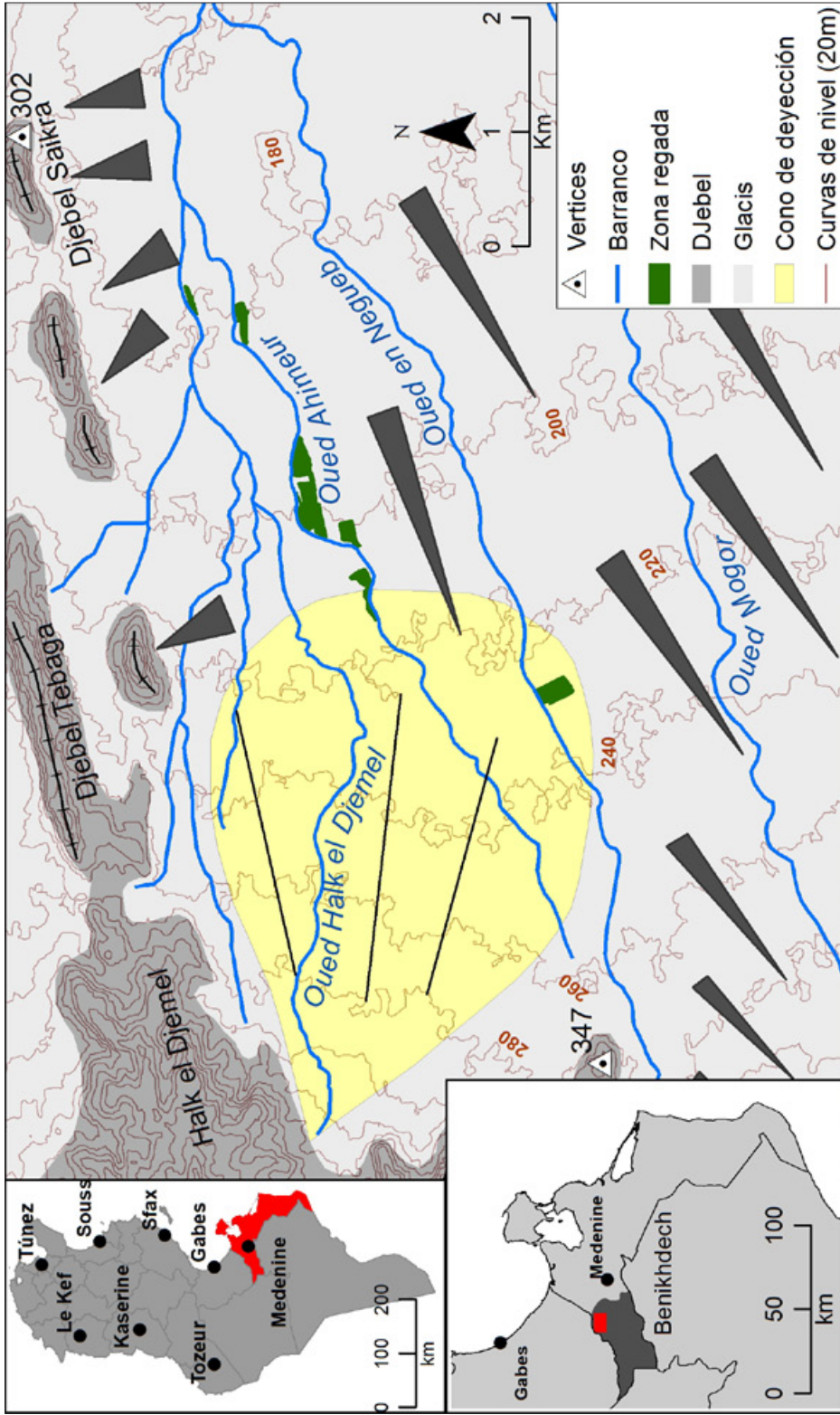


Figura 5.21: Esquema geomorfológico de los mgoud del Oued Ahimeur y otros, en Benikhdach- Medenine, Túnez.
Fuente: Elaboración propia.

algunas *tabias* del piedemonte, recuerda algo al sistema de *meskat* sin acequias, en el sentido de que se benefician de la escorrentía de los eriales situados aguas arriba.

El sector de *mgoud* del Oued Ahimeur tiene unas características muy similares a de Bhira. Tanto en las características de los sistemas como en su estructura espacial. Ello es fruto de que su contexto geomorfológico e hidrológico son básicamente los mismos.

El Oued Ahimeur es uno más de los que drenan el rincón topográfico formado por el umbral de Tebaga (analizado en otros apartados, como 4.5.1.1) y el frente montañoso del Dahar. Tanto los cursos fluviales que bajan de Tebaga, como los que vienen del Dahar, tienen cabeceras en el propio piedemonte o en las primeras montañas, pero no penetran apenas en el macizo del Dahar (*ouadine* Halk el Djemel, Ahimeur, y otros) (ver fig. 5.21). Solo el Oued en Negueb, y sobre todo el Mogor, tienen una cabecera de cierta extensión dentro del Dahar (unos 3'5 km en el caso del Oued en Negueb), y salen al piedemonte con álveos no cultivables.

Los *mgoud* de estos dos sectores tienen unas dimensiones reducidas (ver tabla 5.1). Suelen regar unas pocas parcelas (entre una y siete), y están plenamente activos (fig. 5.22). Algunos de ellos, aparentemente más grandes, son parcelas conexas con dos tomas de agua en paralelo. Al tratarse de sistemas pequeños con posibilidad de gran aporte de escorrentía, necesitan tener desagües reforzados al cauce principal para los excedentes (ver fig. 5.23). El agua pasa de una parcela a otra a través de saltos reforzados, ubicados en uno de los extremos de las *tabias* de separación entre parcelas, o a veces en su parte central.



Figura 5.22 (izquierda): Campesino durante una entrevista improvisada mientras realizaba las tareas agrícolas en su parcela, en uno de los *mgoud* de Ahimeur.

Fuente: Autor.

Figura 5.23 (arriba): *Manfas* (rebosadero reforzado) para el retorno de los sobrantes de agua al *oued*, en uno de los *mgoud* de Ahimeur.

Fuente: Autor.

El resultado es que los *mgoud* se restringen casi exclusivamente a los pequeños cauces del N y, dentro de ellos, a sus tramos medios y bajos. Es el mismo tipo de estructura espacial que el descrito en Bhira: *jessour* en el tramo alto, donde la escorrentía está controlada, y *mgoud* en la baja, cuando el riesgo de erosión en los *jessour* es notable, pero la escorrentía puede aprovecharse con pequeñas tomas.

B- OUARIFENE

El sector de *mgoud* de Ouarifene está situado al N del umbral de Tebaga, unos 5 km al N de la ciudad de Tounine y unos 15 km al SW de Mareth. Al igual que Tebaga, forma parte de un conjunto de pequeños *djebels* y macizos situados delante del frente montañoso del Dahar (denominadas localmente las montañas de Matmata), justo al W del escalón Gafsa-Medenine (ver fig. 4.24). Es un valle que discurre en sentido S-N, entre los primeros *djebels* del frente montañoso (Dj. Ouarifene, Dj.ed Deba, Dj. Bateun ben Zirar).

La morfología de este sector intramontano es algo diferente al de los sectores anteriores de Bhira y Ahimeur. Se trata de un valle flanqueado por montañas de materiales de edad cretácica superior, tanto en cabecera como en los dos laterales.

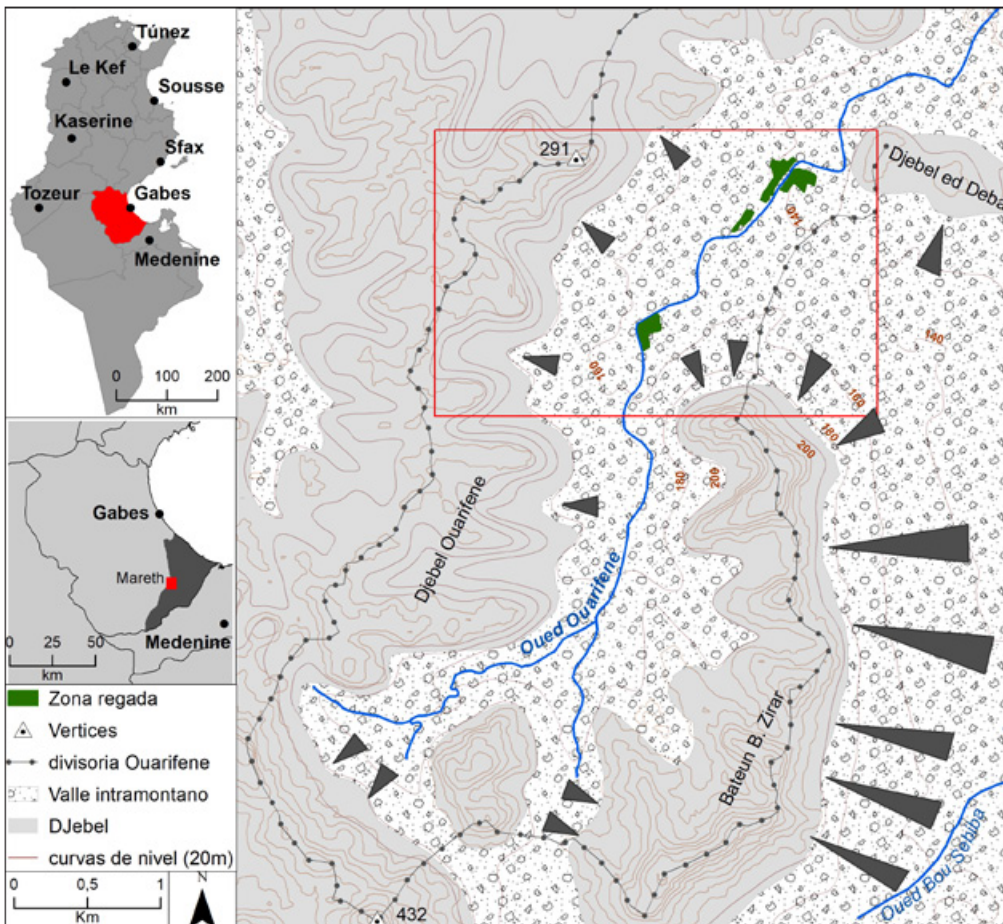


Figura 5.24: Esquema geomorfológico del sector de *mgoud* del Oued Ouarifene, en Mareth- Gabes, Túnez.
Fuente: Elaboración propia.

Su estructura es muy similar a la analizada en el valle del Oued Chaoua (apartado 4.6.1.1, fig. 4.36): el perímetro es de montañas de materiales carbonatados (las dolomías de El Guettar, del Cenomaniense-Turonense) y el interior es de materiales del Neógeno, recubiertos de Cuaternario, en este caso la formación de “Limos de Matmata”. Esto permite un tránsito entre las laderas de las montañas y el cauce principal en el que se desarrollan pequeños glaciares de erosión-acumulación, con vaguadas topográficas por la erosión de los pequeños cursos que bajan de las montañas.

Los usos del suelo de este sector también combinan, como en los dos anteriores, los *jessour*, las *tabias* en ladera o glacis y los *mgoud*, aunque cambian las proporciones y su distribución espacial. En la mitad de cabecera predominan casi exclusivamente los *jessour*, dado que la red de vaguadas y cursos fluviales es bastante densa y la escorrentía que llegan a concentrar es escasa. Las *tabias* se reducen a escasos espacios algo más llanos en los interfluvios y partes bajas de los pequeños glaciares. Los *mgoud* son inexistentes en este sector alto.

En la parte media continúa este patrón de distribución descrito, con un incremento de las *tabias*, al ser un poco más amplios los glaciares, pero también con *mgoud* casi inexistentes. En este sector medio del valle ya empiezan a observarse tramos del curso principal y mayores tributarios con álveos no cultivados (sobre todo a partir de la confluencia entre los dos tributarios principales de cabecera).

En la figura 5.25 se ha cartografiado el sector bajo del valle de Ouarifene, y se observa ya la aparición de bastantes *mgoud*. Los *jessour* se restringen a las vaguadas de los pequeños tributarios que bajan de las montañas, pero ya no están en el curso principal. Las *tabias* siguen incrementando su presencia, al ampliarse la extensión de los glaciares. Se emplazan en la parte baja de los pequeños glaciares intramontanos y en el interfluvio llano del NE, entre el Dj. ed Deba y el Dj. Bateun ben Zirar.

Los seis *mgoud* del sector de Ouarifene, como ocurre en los sectores de Bhira y Ahimeur, tienen unas dimensiones reducidas (ver tabla 5.1), y riegan unas pocas parcelas (entre una y cuatro). También, están todos ellos activos (ver Anexo III).

En síntesis, puede concluirse que no hay diferencias entre las características morfológicas y funcionales de los sistemas de *mgoud* de los últimos tres sectores analizados en Túnez. Tampoco hay diferencias en la estructura espacial de su emplazamiento, a pesar de poder estar en ámbitos geológicos y geomórficos distintos. Y también se observa una combinación del sistema *mgoud* con otros sistemas de *water harvesting* característicos del Túnez semiárido. La clave de su presencia y uso está en la escorrentía: mientras pueda dominarse, se prefiere el *jessour* y cuando el riesgo para estos sistemas es excesivamente grande, se deja que el agua fluya libremente pero se intenta aprovechar al máximo con *mgoud*. Pero los *mgoud* tienen otros condicionantes, y no siempre pueden emplazarse: escorrentías excesivamente abundantes o violentas, red fluvial demasiado encajada, falta de un espacio adecuado para disponer una zona de cultivo, etc.

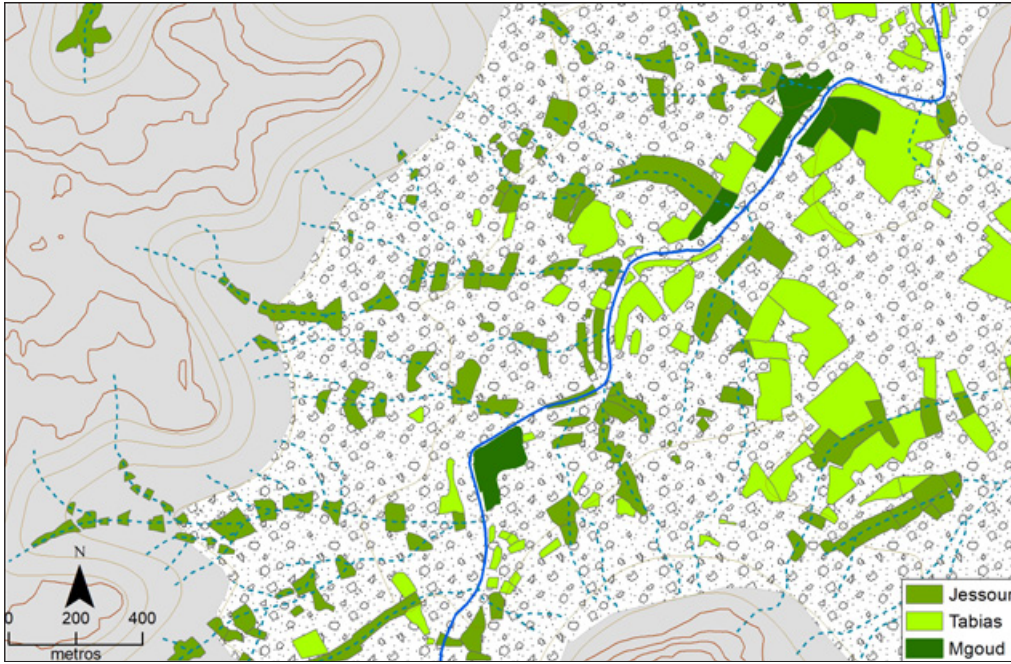


Figura 5.25: Cartografía detallada de usos del suelo del sector de *mgoud* de Ouarifene, indicado en la figura 5.24, en Mareth- Gabes, Túnez.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 5.26 (izquierda): Canal de entrada de un *mgoud* del sector de Ouarifene. Obsérvese la protección en el lateral con piedra en seco.

Fuente: Autor.

Figura 5.27 (arriba): *Mogud* con un *manfas* reforzado con piedras.

Fuente: Autor.

5.3.1.2. El contexto climático de la conversión lluvia-caudal

Como señalábamos en el apartado anterior, la clave principal de la presencia de sistemas de *mgoud* en este sector del sur de Túnez, entre Gafsa y Medenine, está en la generación de suficiente escorrentía como para que los sistemas de *jessour* no puedan controlarla en su totalidad. En el caso de los *mgoud* en conos de deyección este problema está en parte resuelto por los grandes tamaños de las cuencas que forman estos edificios aluviales.

Además, los ejemplos estudiados se sitúan más al norte, en una franja pluviométrica algo más lluviosa. Y, en todo caso, también allí se observa la coexistencia entre las dos técnicas de *water harvesting*, *jessour* y *mgoud*.

En las boqueras en conos de deyección estudiados en Murcia, también se destacaba la importancia de la frecuencia los episodios de lluvias intensas (resaltada por usuarios todavía activos, en 5.2.1.2). La cuestión a considerar en este apartado es la de intentar valorar cuáles son los umbrales mínimos para el funcionamiento de los *mgoud* en este sector tan árido de Túnez.

El problema principal encontrado es la falta de datos de escorrentía en estos pequeños sistemas fluviales, tanto de caudales como de frecuencias de funcionamiento de los sistemas hídricos. El punto de apoyo ha sido la constatación en imágenes de satélite de la presencia de cauces efímeros activos (casi todos con morfologías *braided* cuando alcanzan cierta entidad y tienen lechos amplios) y la constatación con trabajo de campo de la presencia de *mgoud* funcionales. La hipótesis de partida es clara: Si se utiliza la técnica en este lugar es porque las condiciones pluviométricas (intensidades de precipitación) e hidrológicas (volúmenes y frecuencias de escorrentía) lo hacen rentable.

La intensidad de la precipitación

El objetivo de este subapartado, lógicamente, no es el de hacer un estudio climatológico de la intensidad de la lluvia y de sus condiciones genéticas en este sector de Túnez, pues se escapa a las pretensiones de nuestra tesis doctoral. Además, tampoco se dispone de los datos pluviométricos necesarios para ello. Simplemente pretendemos realizar una aproximación intuitiva a las cantidades de lluvia mínima necesaria para la existencia y funcionamiento de estos sistemas de *water harvesting*.

En primer lugar, Zahar y Laborde (2007) en su trabajo sobre modelación estadística y cartografía de la precipitación diaria extrema en Túnez, aportan valores y claves para entender el contexto de la lluvia intensa: Aparte de sus máximos al N del Atlas, la estructura espacial de la lluvia intensa tiene un gradiente muy claro E-W. Las lluvias máximas decenales alcanzan valores cercanos a 90mm en Djerba y de menos de 40mm en el interior desértico (fig. 5.28). También se observa que los valores repuntan por efecto orográfico en las montañas de Matmata, y que el sector de Gafsa (anteriormente estudiado) es un lugar del interior con cierto incremento de la torrencialidad. La zona estudiada aquí presenta valores algo inferiores a los de Gafsa, entre 70 y 80mm/día, pero su ubicación cercana a la costa y al pie de las montañas son factores favorables.

En segundo lugar, hemos intentado realizar una aproximación a las frecuencias de lluvias intensas diarias de valores moderados, con dos umbrales, 30 y 10mm/día (fig. 5.29), a partir de los datos de lluvias diarias de Matmata. Los valores superiores a 30 mm muestran unas frecuencias a todas luces insuficientes para el funcionamiento de los sistemas de *mgoud*. Las frecuencias de días superiores a 10 mm alcanzan valores

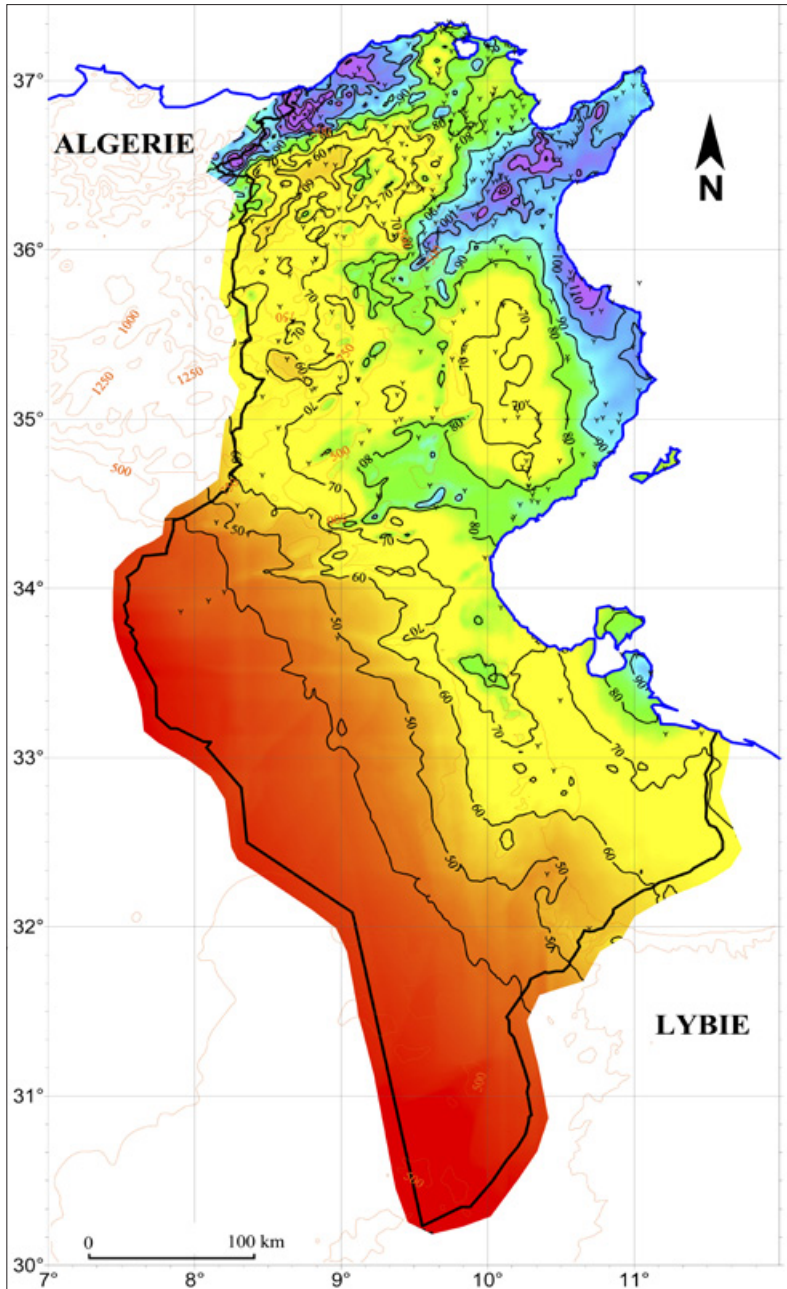


Figura 5.28: Mapa de la precipitación diaria decenal en Túnez, basado en observaciones realizadas en 399 estaciones pluviométricas con más de 30 años de observación.

Fuente: Zahar y Laborde (2007, p.421).

medios anuales de 3'9 días/año (137 casos en 35 años).

No es la frecuencia óptima, pero pensamos que se acerca ya bastante al umbral mínimo buscado. Si el análisis se hubiese podido hacer con frecuencias de intensidades minutas, probablemente los resultados serían más convincentes y cercanos a la realidad del funcionamiento de estos sistemas hídricos y de *mgoud*.

Finalmente, se ha querido hacer una aproximación genética a la torrencialidad de este sector, mediante la consideración de los tipos de estructuras sinópticas causantes de los temporales y su contraste con la climatología dinámica de esta parte del Mediterráneo.

Para ello se ha explorado, simplemente, una muestra de situaciones sinópticas que ocasionaron lluvias intensas de cuantía moderada en Matmata (entre 15 y 25 mm), para intentar obtener unas tipologías básicas de situaciones sinópticas y contrastarlas con la dinámica atmosférica del Mediterráneo occidental y central (ver fig. 2.2, apartado 2.1.1).

De este análisis surgen, al menos, tres tipos de situaciones sinópticas (fig. 5.30):

a- Depresiones aisladas en niveles altos (DANA's, "gotas frías") situadas al sur o sobre el Atlas: Son las situaciones que dan lugar a las lluvias más intensas (ver figs. 4.38 y 5.11), pues el anticiclón de bloqueo que estrangula y forma las DANA's, a su vez, condiciona un claro flujo de levante en superficie. Según el HMSO (1962), al cabo del año se producen unas 14 situaciones similares, muchas de las cuales pueden producir lluvias intensas de cuantía suficiente para que funcionen los sistemas, al ser las situaciones más favorables.

b- Caras de ataque de borrascas "del Golfo de Génova": Se trata de situaciones muy numerosas al cabo del año (unas 60 al cabo del año, según HMSO,1962), debido al marcadísimo carácter ciclogénico del Mediterráneo occidental. Muchas de ellas llegan al Mediterráneo central y pasan sobre Túnez. La condición que tienen que cumplir, *a priori*, es que se desplacen algo hacia el S y que tengan un cierto carácter "retrógrado", para que su sector de máxima inestabilidad se sitúe sobre la zona. Aparentemente pueden "funcionar" con flujos superficiales con débil componente E, incluso con SE o SSE.

c- Caras de ataque de profundas vaguadas "en coma": Con su *talweg* dispuesto casi en sentido paralelo, sin necesidad de penetrar excesivamente en el dominio sahariano, pueden generar tormentas convectivas primaverales u otoñales de escaso volumen, pero altas intensidades (al igual que las tormentas en caras de ataque de vaguadas con situaciones del SW en la Península Ibérica). También es necesario en ellas, algo de flujo de componente E en superficie, aunque sea débil y del SE.

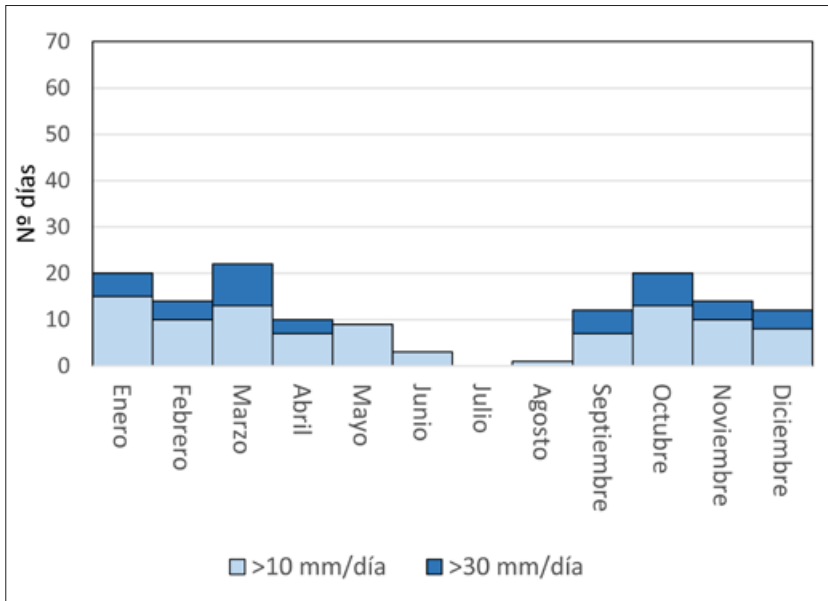


Figura 5.29: Frecuencias mensuales de las precipitaciones diarias superiores a 10 mm/día y 30 mm/día en Matmata (1979-2014).

Fuente: Elaboración propia, a partir de Global Weather Data for SWAT <https://globalweather.tamu.edu/>.

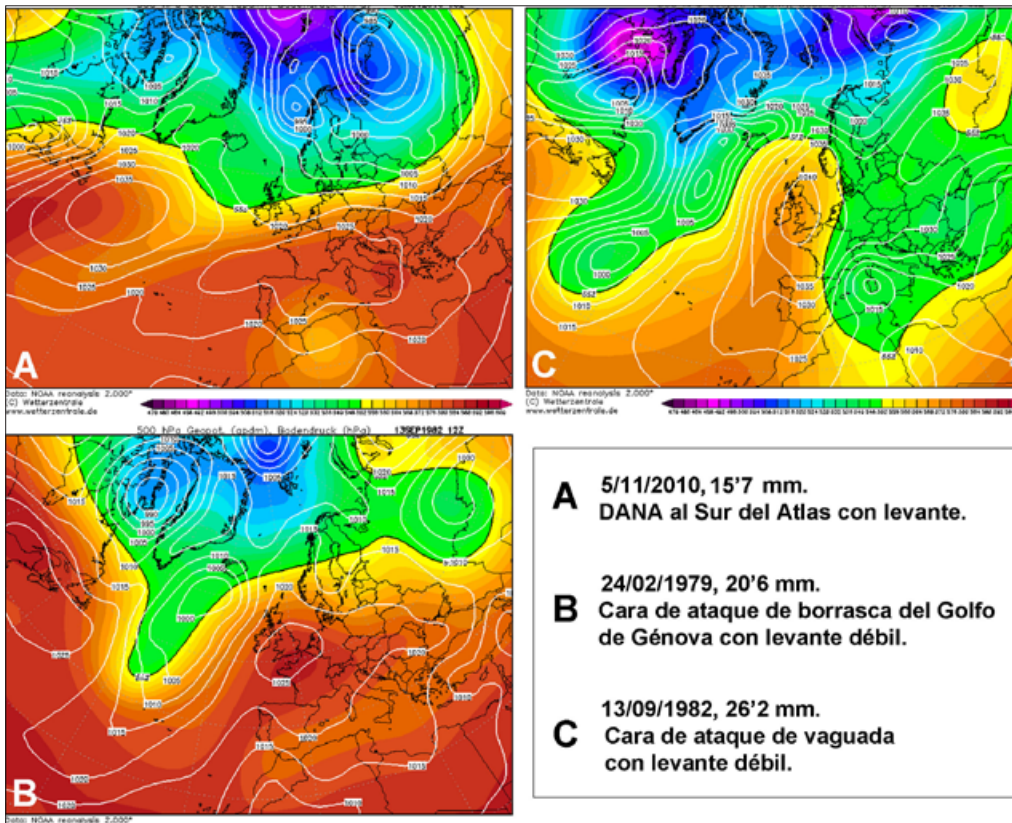


Figura 5.30: Diferentes tipos de situaciones sinópticas correspondientes a tres episodios de lluvias de intensidades moderadas en Matmata.

Fuente: Elaboración propia, a partir de www.wetterzentrale.de.

5.3.2. La Tosca (Xixona), La Revuelta (Agost) el Salt (Petrer) y Fontcalent (El Rebolledo, Alicante)

En el caso del SE español, a efectos de seguir sentando las bases del análisis comparado, hemos elegido unos sistemas de boqueras representativos de diferentes contextos geomórficos: terrazas, meandros abandonados, glacis... En todos los casos se contaba con cartografía previa de todos o parte de los elementos del sistema. Esta base documental y bibliográfica ha sido imprescindible para nuestro análisis de los condicionantes geomórficos de los sistemas, porque todos ellos están abandonados y con pérdida de bastantes de sus elementos constituyentes. Los dos analizados con mayor detalle son los sistemas de la Masía de la Tosca, en Xixona, y el de la Revuelta, en el Barranc Blanc, cerca de Agost. Pero se han considerado también otros casos, como el de la pedanía de El Rebolledo (Alacant), al pie de la sierra de Fontcalent y el del Salt, en Petrer.

Contexto climático e hidrológico

Los tres sectores analizados están localizados en la provincia de Alicante, en su parte central-meridional. Es un sector de la provincia que ya registra una notable aridez, al estar localizado plenamente en la sombra pluviométrica de las sierras béticas noralicantinas. Son los climas denominados “*vertiente seca del Macizo de Alcoi*” y del “*sector litoral meridional*” de Clavero (1977). La precipitación media anual se sitúa entre 300 mm y 400 mm y la distribución mensual de la precipitación muestra un intenso periodo seco estival, de unos 3-5 meses de duración y unas precipitaciones estacionales algo más abundantes en otoño, y que a duras penas superan el umbral de aridez de Gausson en primavera e invierno. En general, octubre es el mes más lluvioso en todos los observatorios, pero sobre todo en los situados más cerca de la costa (fig. 5.31).

La torrencialidad de la precipitación de este sector de la provincia de Alicante no es tan alta como la del norte provincial: en términos proporcionales, los valores de recurrencia, según el método de Gumbel, de las lluvias máximas diarias del norte provincial son más del doble que los aquí registrados. Pero, aun así, la torrencialidad de la lluvia de este sector alicantino es claramente superior a la observada en los sectores tunecinos estudiados en el apartado anterior. Así, la lluvia diaria máxima esperada con un periodo de recurrencia de 2 años está entre 50 y 60 mm, y la esperada con una recurrencia de 10 años alcanza entre 100 y 120 mm (Martín Vide, 1994, pp.94-95). En el caso del sector sudtunecino estudiado, la precipitación máxima diaria probable con 10 años de recurrencia se sitúa entre 70 y 80 mm (fig. 5.28).

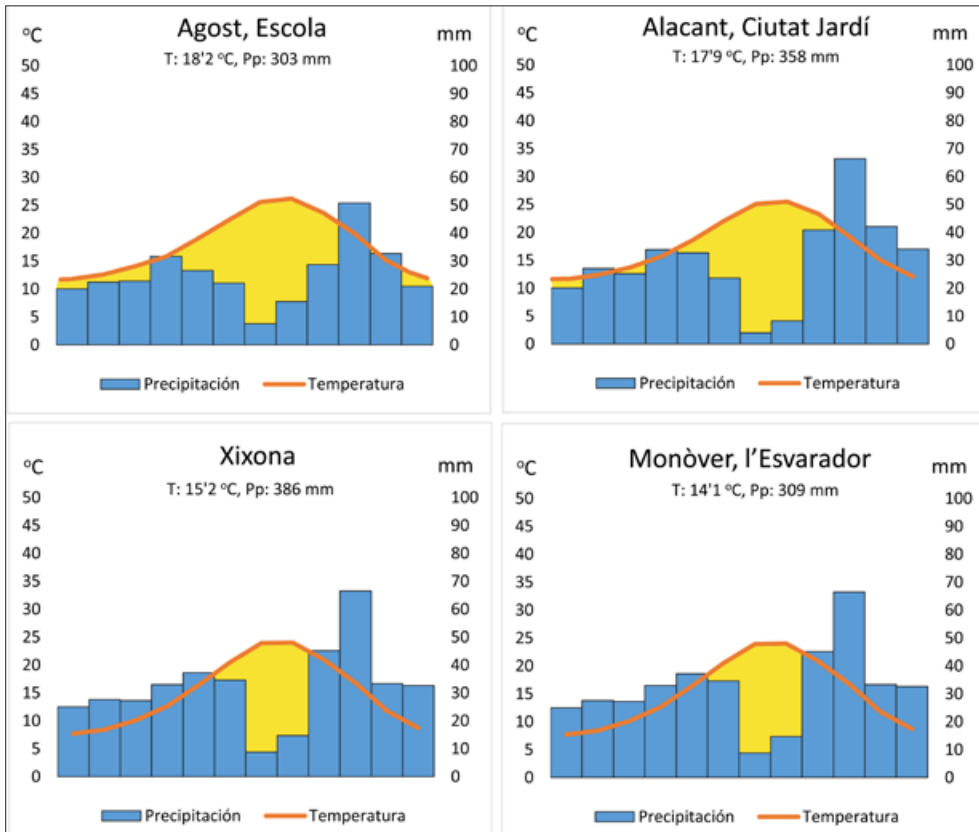


Figura 5.31: Diagrama ombrotérmico de Gausson para las estaciones de Agost “Escola”, Alacant “Ciutat Jardí”, Xixona y Monòver “l’Esvarador”.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Pérez Cueva (1994).

A efectos de comparar mejor las condiciones de la intensidad de la lluvia capaz de hacer funcionar estos sistemas, hemos analizado también las frecuencias de días al año con precipitaciones superiores a 10 y a 30 mm, con la misma fuente de datos que la utilizada en Matmata (*Global Weather Data for SWAT*). Se ha realizado el análisis con datos de un punto cercano a Agost, al ser el más representativo de toda la zona de boqueras estudiadas. Los resultados muestran también una clara mayor frecuencia de días. Las frecuencias de días superiores a 10 mm alcanzan valores medios anuales de 14'9 días/año (521 casos en 35 años). Es una frecuencia tres veces superior a la observada en Túnez. Estas diferencias son todavía mayores si analizamos los días intensos superiores a 30mm (63 días para todo el periodo en España y 12 en Túnez).

Otra diferencia entre este sector y el estudiado en Túnez es la capacidad de generar escorrentías aprovechables. Se trata también de un análisis intuitivo, dada la inexistencia de datos de aforos en las pequeñas cuencas donde se emplazan los sistemas, ni tampoco de un registro de avenidas. En este caso, a diferencia de la hipótesis expuesta en el apartado anterior (5.3.1.2), pensamos que los umbrales de escorrentía en estos ejemplos del SE español son claramente más elevados. Pero, como también lo es la torrencialidad, son umbrales que pueden ser alcanzados con la frecuencia que exige la rentabilidad funcional de un sistema de boqueras.

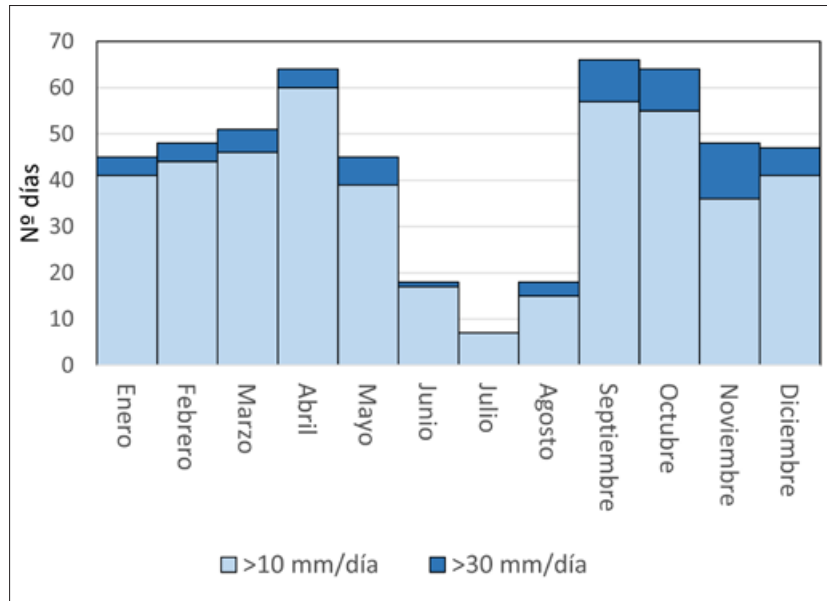


Figura 5.32: Frecuencias mensuales de las precipitaciones diarias superiores a 10 mm/día y 30 mm/día cerca de Agost (1979-2014).

Fuente: Elaboración propia, a partir de Global Weather Data for SWAT <https://globalweather.tamu.edu/>.

Unos valores extraídos de estudios que han analizado la conversión lluvia-caudal en Alicante pueden ayudar a contextualizar esta cuestión de los umbrales mínimos de escurrentía en la zona: Pujante (1983, p.112), 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. En Gil Olcina *et al.* (1986, p.93) se aporta un dato más preciso de intensidades: entre 40-55 mm/hora durante más de 10-15 minutos (unos 10 mm, siempre y cuando caigan con esa intensidad). Segura (1990, p.67), con una metodología diferente, sugiere valores de 35-40mm/día para la cuenca del Riu Montnegre, sin precisar intensidades. Entendemos que se trata de datos coherentes, pues, dadas las características genéticas de la precipitación en el sur de Alicante, unas lluvias diarias en torno a 35-40 mm suelen implicar las intensidades minutas sugeridas en los anteriores trabajos.

5.3.2.1. Descripción de los sistemas

A- LAS BOQUERAS DE LA MASÍA DE LA TOSCA

Se trata de un conjunto de tres sistemas de boqueras (Tosca I, Tosca II y Tosca III) situadas en el término municipal de Xixona, unos 6-7 km al SE de la localidad, pero en otra cuenca fluvial. Todos los sistemas se emplazan en la margen derecha de la Rambla de Busot, que es un curso fluvial de cierta entidad, que desciende de las sierras de La Grana, sur de la de Galiana y oeste del Cabeçò d'Or. Afluye al Riu Montnegre en las cercanías de Mutxamel. La cartografía de estos sistemas ha sido tomada de Mondéjar (2009, anexo documental).

En el tramo de los tres sistemas de boqueras, la Rambla de Busot discurre por un valle estrecho. Las montañas que lo flanquean tienen alturas superiores a 400-500 m, mientras que el cauce discurre entre 370m en el arranque de Tosca I y 270m en el final de Tosca III. Se trata de montañas calcáreas del Cretácico superior. El valle, por el contrario, está labrado en margas y calizas arenosas del techo del Cretácico inferior. Es un contexto geológico poco habitual en el Prebético alicantino, en el que las margas sobre las que se labran los valles suelen ser neógenas. Aquí se trata de un anticlinal cretácico desventrado, en dirección N-S, con núcleo de materiales más blandos del Aptiense-Albiense.

Tanto en la margen izquierda como, sobre todo, en la derecha, sobre estos materiales blandos se han desarrollado niveles de glacis-terracea (probablemente G2-T2, ya que constituyen el nivel morfogenético regional dominante). Estos niveles quedan bastante colgados respecto al cauce actual, del orden de 30 m, pues la red fluvial actual los ha disectado profundamente y se halla muy encajada respecto a ellos. Los glacis también han sido disectados por los barrancos que bajan de los ejes de relieve montañoso que flanquean el valle. Por debajo de este nivel morfogenético y unos 3-4 m por encima del lecho actual se puede observar con bastante continuidad un nivel de terraza que, por su morfología, podemos interpretarla probablemente como del Pleistoceno superior-Holoceno (T1). Tanto los glacis del G2-T2 como estas terrazas del T1 se desarrollan en mayor medida en la margen derecha de la rambla (los aquí cartografiados), pero también pueden encontrarse en la izquierda

Los sistemas de boqueras utilizan exclusivamente estas terrazas bajas como zona de riego de turbias. La posibilidad de elevar más el agua implicaría unos canales de conducción mucho más largos y, además, la dificultad de tener que atravesar mediante acueductos los numerosos barrancos laterales que disectan G2-T2: no es una opción recomendable, porque tampoco comporta una ganancia de la extensión de tierra cultivable. En el caso de Tosca I, el sistema de cabecera, es necesario elevar el agua y conducirla con un canal de unos 325 m hasta la zona donde empieza a ser aprovechada. En los otros dos sistemas el agua puede ser utilizada antes, pero también tiene canales de conducción largos (unos 750 m en Tosca II y 540 m en Tosca III) y de trayecto difícil. Cada uno de los tres sistemas puede regar entre dos o tres tramos de terrazas T1.

En síntesis, interpretamos que se trata de sistemas emplazados en un lugar con condiciones geomórficas difíciles, en cuyo diseño se ha buscado optimizar el esfuerzo de su construcción con la calidad y extensión del terreno regado (las terrazas fluviales bajas). La clave para entender su existencia puede estar en la cantidad y frecuencia de los caudales de riada de la Rambla de Busot, aunque se tiene que superar la dificultad de tener que elevar el agua hasta la zona regable. Esto se consigue con presas de captación de gran envergadura (equivalentes a los *parats*) y con sistemas de cierta dimensión, no muy grandes, pero tampoco minúsculos.

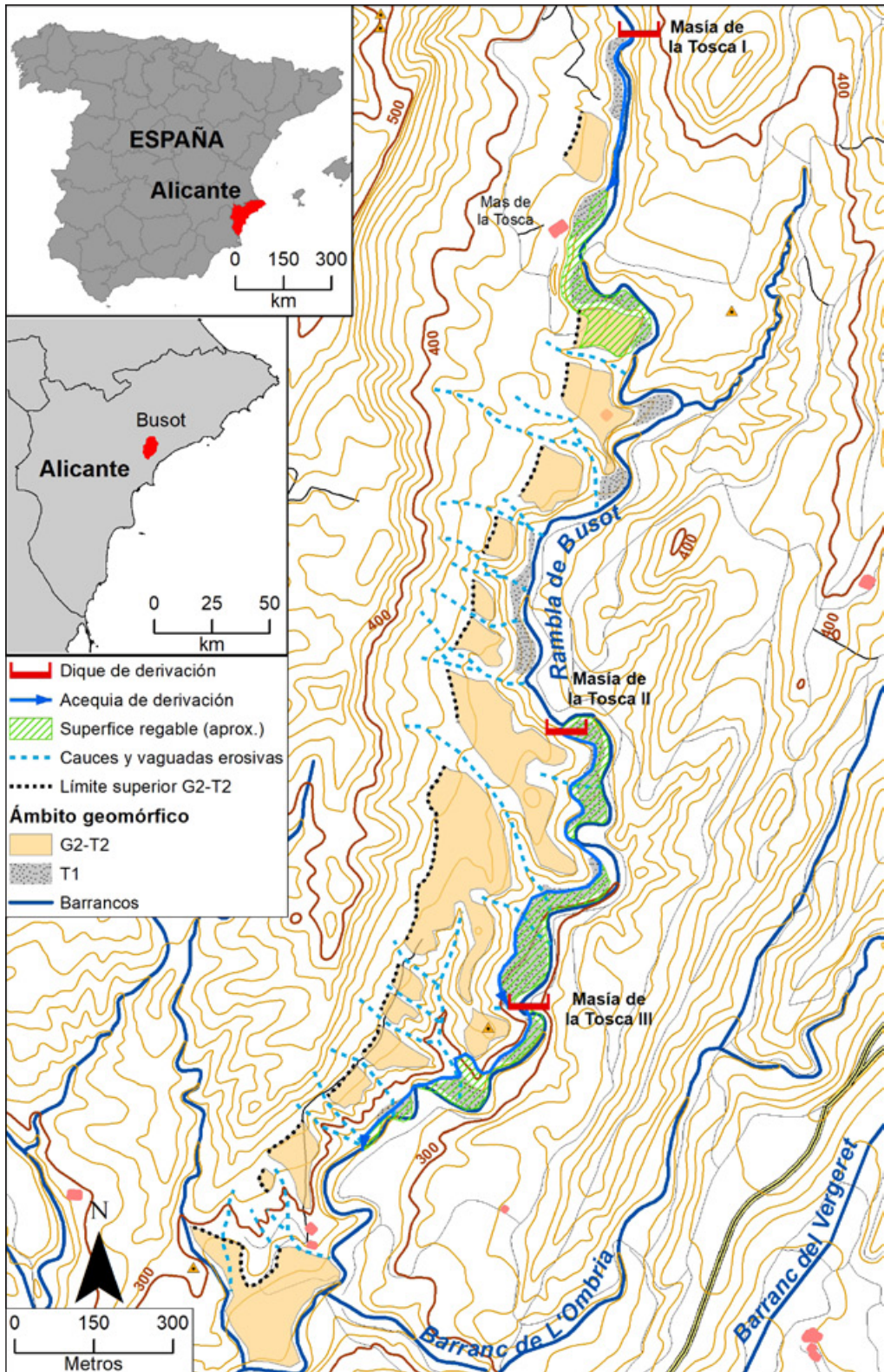


Figura 5.33: Mapa geomorfológico del sector de las tres boqueras de la Masía de la Tosca, en la Rambla de Busot.

Fuente: Elaboración propia.

B- LAS BOQUERAS DE LA REVUELTA

Estos sistemas se localizan muy cerca de Agost, unos 1'5 km al N de la localidad. Se emplazan en la orilla derecha del Bc. Blanc. Se trata de dos sistemas de boqueras que siguen un meandro abandonado por su centro y un lateral. Su ubicación ha sido tomada de la descripción y croquis tridimensional que realizan Morales y Box, 1989, p.19 (fig. 5.34). El objetivo de este apartado es ubicar con precisión sus elementos, ya que se trata de sistemas desaparecidos parcialmente, y analizar su relación con el contexto geomórfico en el que se sitúan.

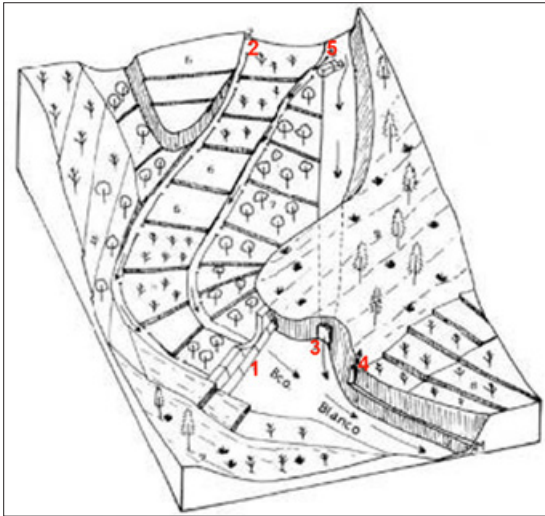


Figura 5.34: Paraje de la presa de la Revuelta: 1- Presa; 2- Antigua boquera que distribuía el agua por la superficie agrícola creada a expensas del relleno de la presa; 3- Túnel del lóbulo del glacis, originado a favor del minado; 4- Segundo minado y canal de conducción de sus aguas; 5- Presa de derivación y boquera correspondiente, construidas tras la apertura del túnel.

Fuente: Morales Gil y Box Amorós (1986, p.19).

El Bc. Blanc es una de las cuencas tributarias de la Rambla de les Ovelles. Su cabecera arranca de la parte central del Maigmó y drena la parte occidental de las sierras del Castellans y del Ventós (su divisoria oriental, con la Rambla del Rambuchar). La divisoria occidental entre el Bc. Blanc y la Rambla de la Zarza se produce en una zona de glacis. Tras pasar Agost, todos los derrames que bajan de la parte occidental del Maigmó y de la Sierra del Cid son colectados por la Rambla del Alabastre, otro de los grandes tributarios de la Rambla de les Ovelles.

El sector analizado, cerca de Agost, se sitúa en la parte media de la cuenca y tiene aproximadamente una cuenca vertiente de unos 15 km². Según IGME (1978) la parte de las sierras orientales (Ventós y Castellans) es básicamente una plataforma tabular de calizas blancas del Turoniense, y el Maigmó, un pliegue de materiales calcáreos cretácicos tumbado hacia el NW, con una pequeña depresión neógena al pie, en la que llega a aflorar el Trías plástico. Por tanto se trataría de una cabecera básicamente calcárea, pero no toda ella.

Los dos sistemas de boqueras guardan relación con un meandro abandonado que se halla en la margen derecha del barranco, en el paraje de la Casa de la Revuelta. En una secuencia morfogenética, el meandro se correspondería con el nivel T0 (terrace de inundación) del conjunto de niveles morfogenéticos cuaternarios observados en la zona (fig. 5.35).

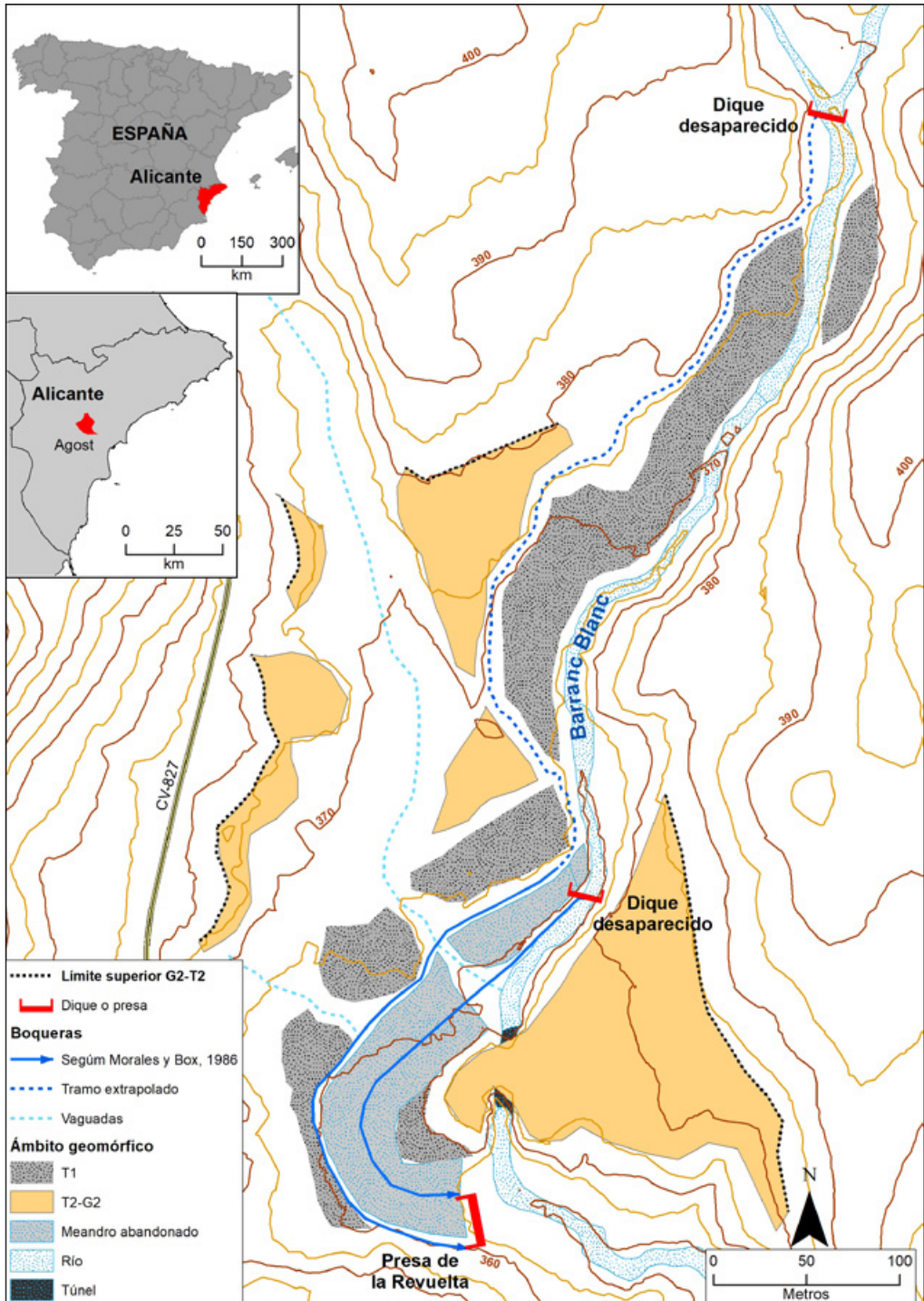


Figura 5.35: Mapa geomorfológico del sector de boqueras de la Masía de la Revuelta, en el Bc. Blanc.
Fuente: Elaboración propia.

Por encima de él, y en otros laterales del barranco, se observan restos de la terraza baja (T1), con una morfología y a una altura similar a las observadas en La Tosca. Una característica de estas terrazas es que no pasan lateralmente a glacia, sino sólo a vaguadas que erosionan el nivel morfogénico dominante. Por encima de este nivel de terraza T1 son reconocibles los restos del nivel pleistoceno G2-T2 y otros más antiguos que no han sido considerados aquí. Este último es similar al que se observa en otras cuencas valencianas, como el Turia (Carmona, 1982 y Pérez Cueva, 1985), Palancia (Pérez Cueva, 1985 y Estrela, 1986) o Maestrazgo (Simón, Pérez Cueva y Calvo, 1983).

El meandro abandonado tiene un singular origen, pues el proceso de captura se hace mediante un canal subterráneo (figs. 5.35 y 5.36). No queda claro ni el mecanismo que genera la captura ni el momento de ésta. Morales y Box (1986, p.17-18) sugieren como hipótesis que la captura aprovecha la debilidad de una antigua galería de agua; también podría ser un proceso de *piping*. Más evidencias parece haber del momento en el que se produce, si interpretamos el sistema y sus elementos en relación con los niveles morfogénicos cuaternarios del sector: en primer lugar, uno de los sistemas (el oriental) tenía su presa de agua justo antes del inicio del meandro abandonado y su trazado por el centro; en segundo lugar, la presa (*parat*, fig. 5.37 A) que hay al final del meandro y antes de la salida del túnel (fig. 5.37 B) indica que el meandro abandonado tiene una clara acumulación antrópica de sedimentos; y finalmente, el desnivel que existe en la actualidad entre el cauce y el sistema evidencian una incisión notable de la red fluvial en época presente (visible también en muchos otros puntos, como en el que analizaremos a continuación en Fontcalet).

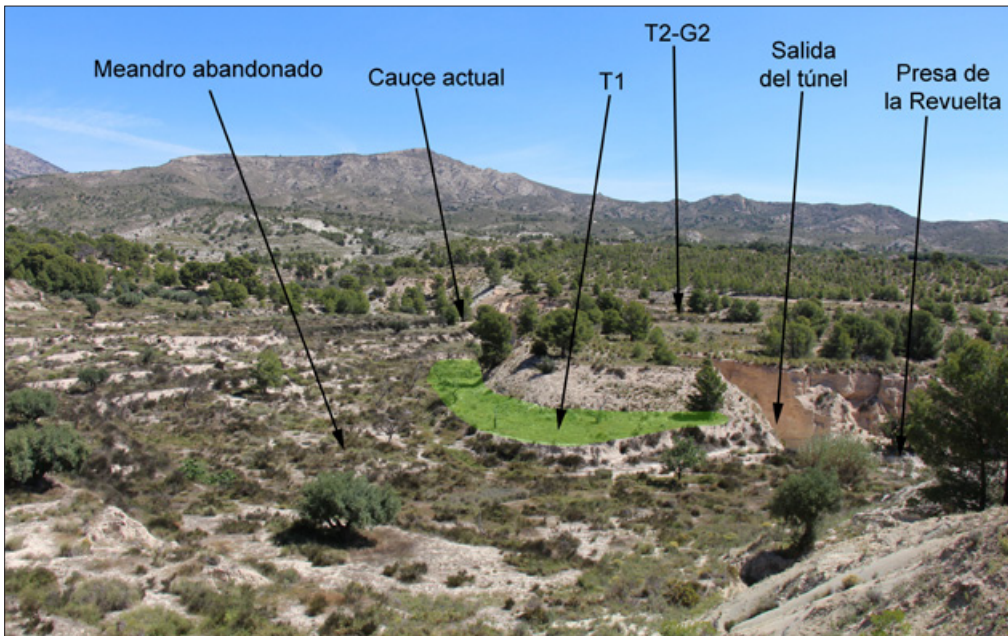


Figura 5.36: Meandro abandonado en el Bc. Blanc, en Agost, con indicación de los principales elementos morfogénicos y la ubicación de la presa de La Revuelta.

Fuente: Autor.

Todo ello implica que a) la captura se produce después de la acumulación de sedimentos aguas arriba del *parat* o presa de La Revuelta, b) que la boquera del centro del meandro (al menos) se establece después o simultáneamente al proceso de captura (quizá la lateral sea más antigua) y c) que la incisión fluvial de los últimos años ha sido muy intensa, ha dejado “colgados” los sistemas de boqueras, y ha destruido las presas de toma de agua. De ser cierta esta secuencia, son datos que apoyan una actuación antrópica en el proceso de captura, dada la sospechosa casualidad de que ésta ocurra tras el levantamiento del *parat*. No sería descartable un plan inteligente, combinando *parat* y captura, para primero construir un valle cultivable (*parat*) y luego protegerlo con la captura subterránea.



Figura 5.37: A- La presa de la Revuelta, en el antiguo trazado del Bc. Blanc, en Agost. B- Entrada del túnel por donde discurre el actual curso del Bc. Blanc.

Fuente: Autor.

En cuanto a los sistemas, el croquis de Morales y Box (fig. 5.34) indica la ubicación de la toma de agua y el trazado de la boquera más corta (la oriental). Pero su amplitud no alcanza para la localización de la presa de la boquera occidental. Extrapolando el trazado a partir de las curvas de nivel, en la fig. 5.35 se indica su posible ubicación.

Esta boquera occidental tiene un canal con una longitud total de unos 820 m (de los cuales unos 315 m están reflejados en el croquis antes mencionado). Podía regar las terrazas más bajas, T1 al principio y el meandro abandonado al final. La boquera oriental, de unos 250 m, situada dentro del meandro, solo podía regar este nivel T0.

Una conclusión que se puede extraer del análisis de este sector es que no sólo es un caso más de adaptación de los sistemas al medio físico, sino que también podría llegar interpretarse que ha habido una modelación de este medio: el canal subterráneo, al desviar al lateral el cauce, es un elemento clave para disminuir el riesgo de erosión.

C- OTRAS BOQUERAS

Se analizan, a continuación, dos sectores más aprovechamiento de escorrentía concentrada, en los que se describen simplemente los elementos más significativos.

a- El Salt o Fontanars de Palomarets

Se ha seleccionado este sector por la existencia de un croquis tridimensional publicado en el estudio de Bernabé (1989, p.21) sobre las obras hidráulicas tradicionales en Petrer (fig. 5.38). En este caso se trata de dos sistemas de boqueras que surgen de un *parat* (fig. 5.39 A), situado al pie del Salt, junto al Camí de la Foradà. El sistema de la derecha (el occidental), se emplaza pronto sobre el glacis que hay al pie de Les Penyes del Senyor, pequeña sierra al sur del Maigmó, pues la cota de la toma de agua lo permite. Es un nivel morfogénético degradado, que pensamos que es, con casi toda probabilidad, G2-T2. El agua es conducida (ver canal en fig. 5.39 B) y derramada sobre el mismo glacis. El sistema de la izquierda (el oriental) toma el agua desde el mismo *parat* y, a través de varios túneles (*alcavons*) distribuye sus aguas por las pequeñas terrazas y el propio valle del barranco encajado en el glacis.

La cuenca del barranco, aguas arriba, es pequeña (unos 0'9 km²), y está labrada en calizas y areniscas eocenas en cabecera, y en calizas margosas y margas del Senoniense en el valle que recoge las aguas antes del Salt. El glacis sobre el que se instala una de las boqueras se ha desarrollado a expensas de la erosión de las arcillas y arenas del Albiense (cuyas descargas de su acuífero multicapa justifican los manantiales del paraje de Els Fontanars).

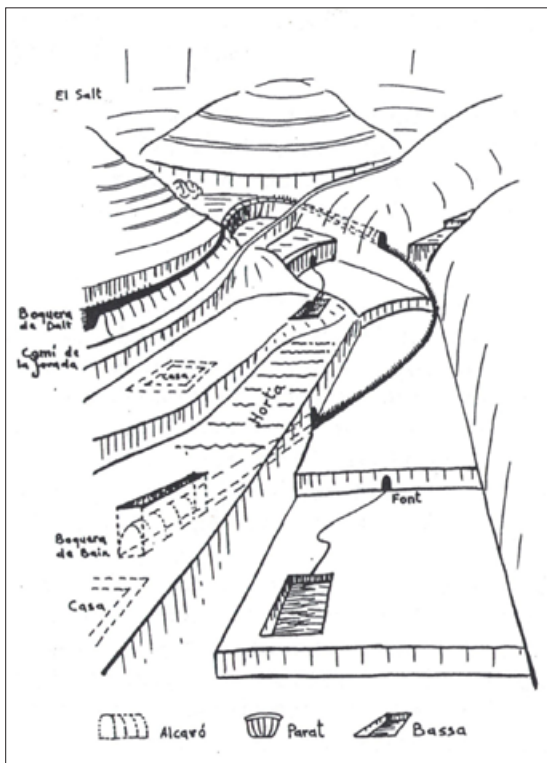


Figura 5.38: Croquis a mano, a partir del vuelo de 1956, de las obras hidráulicas tradicionales en el barranco del Salt, en el paraje de Els Fontanars de Palomarets.

Fuente: Bernabé (1989, p.21).



Figura 5.39: A- Parat desde el que parten las dos boqueras de los sistemas del Salt o de Fontanars dels Palomarets, en Petrer. B- Cauce de la “boquera de dalt” (la occidental), ya elevado sobre el barranco (izquierda) y a punto de derramar sus aguas en el glacis (derecha).

Fuente: Autor.

En estos sistemas queremos destacar que algunos *parats* pueden funcionar a la vez como lugares de represa y toma de aguas. Tienen la ventaja de suponer una notable elevación de ésta, lo que permite aprovechar mejor los escasos elementos geomórficos cultivables (terrazas, parte baja de glacis...). También se quiere destacar que, una vez captada el agua, los elementos de conducción pueden ser, no solo largos, sino también sofisticados y laboriosos. Se trata de diseños de gran envergadura.

b- Sistema de la presa de Fontcalent

Está localizado en las cercanías de la pedanía alicantina de El Rebolledo, en el barranco de Fontcalent, al pie de la sierra homónima, en su extremo meridional. Se trata de una zona en la que empiezan a abrirse ampliamente los glacis de erosión-acumulación, y en la que las sierras ya constituyen manifestaciones aisladas del relieve. Los cursos fluviales pasan a denominarse “ramblas”, pues ya no discurren encajados en los relieves (como en todos los casos estudiados hasta el momento en este apartado, incluyendo El Salt). Este hecho se acompaña, normalmente, de un menor desnivel entre el lecho fluvial y los elementos geomórficos llanos laterales. Aun así, es frecuente, y ocurre en este caso, que el agua sea tomada desde un gran *parat*. Ello es debido, en parte, a que los sistemas de boqueras solían coexistir con sistemas de fondos de valle abancalados, sobre todo en las ramblas de menor entidad (al igual que ocurre en Túnez, apartado 5.3.1).

En la imagen aérea del “vuelo americano” (20 de octubre de 1956) se observa que el lecho de la rambla estaba abancalado (fig. 5.40), y que el *parat* de la toma de aguas de este sistema contribuía a ello. Esto contrasta con la imagen actual (fig. 5.41), en la que se observa ya el encajamiento de la red fluvial.

Este ejemplo se ha tomado de Mondéjar (2009, anexo documental), en el que se cartografía todo el sistema (presa y zona de derrame). Es curioso observar que el equivalente a un canal de transporte tiene un trazado perpendicular al barranco, y no paralelo a él. Esto es debido a que el flujo de agua del valle ha sido desviado a su izquierda, hasta el pie mismo de la sierra de Fontcalent, y a que el sistema no estaba diseñado para elevar el agua, sino para extenderla hacia su derecha, hacia el resto del valle abancalado.

Según este autor, en realidad “no existe una boquera de derivación. El parat, mediante el relleno del cauce permite la formación de terrazas de cultivo en todo el ancho aluvial de la rambla. De esta manera (...) sus aguas son laminadas y conducidas mediante boqueras secundarias...”

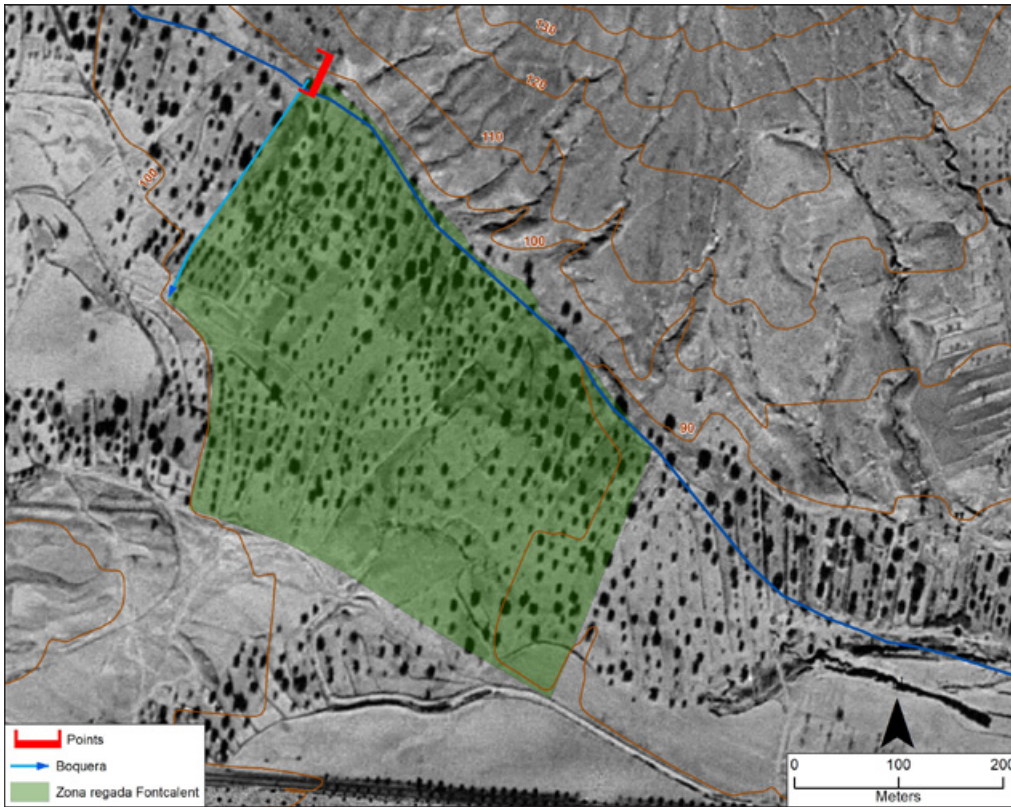


Figura 5.40: Imagen de la fotografía aérea del “vuelo americano” en la que se muestra la ubicación del parat de Fontcalent y el área de laminación del agua mediante boqueras secundarias.

Fuente: Elboración propia, a partir de Mondéjar (2009, anexo documental).



Figura 5.41: Parat de Fontcalent. Se observa la acumulación de detríticos ocasionada por el parat y el encajamiento actual del barranco.

Fuente: Autor.

De este sistema se quieren destacar dos ideas o rasgos principales:

- Es otro ejemplo de sistema que nace en un *parat*. En la fig. 3.41 se puede observar que la función principal de éste es la de acumular sedimentos y crear “terreno cultivable”.
- Es otra manifestación de la intensa degradación a la que lleva el descuido o abandono de estos sistemas, dada su vulnerabilidad ante unas lluvias tan torrenciales.

A modo de conclusión, podemos señalar que los sistemas de derivación de escorrentías concentradas suelen ser diseños perfectamente adaptados a su entorno físico. La porción aprovechada de agua es dispar: puede ir desde una pequeña fracción del caudal hasta su totalidad. En este sentido hay que señalar que cada boquera es única.

Aunque pueden presentar diferencias morfológicas, tamaños desiguales, soluciones más o menos laboriosas, se da una casi total similitud en el hecho de que convierten en recurso un tipo de aguas muy difícil de aprovechar, y en que intentan minimizar el riesgo en la medida de lo posible, tanto de un modo directo como indirecto.

6. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS



Noria en el Huerto de Casa de la Boquera (Alzira).
Fuente: Autor.

*“Cien gallegos, van por agua,
uno tras otro, y no se alcanzan”*

Adivinanza infantil andaluza
recogida por Cecilia Böhl de Faber
(Cruz García, 1987, p.157)

6. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS

Como apartado final de la parte analítica de la tesis doctoral se ha querido incluir un tema, el de las aguas subterráneas, con una clara diferencia respecto a los anteriores. Aquellos se centran en la escorrentía superficial, difusa o concentrada, y suponen recursos para actividades agropecuarias de secano. En el caso de las aguas subterráneas someras o de las aguas subálveas, se trata de recursos hídricos aprovechados para regadíos o abastecimiento.

La razón de incluir este último tema es doble. Por una parte, se añade un cuarto aspecto de comparación en el análisis del peso de los factores medioambientales y culturales en la gestión de agua. Por otra, en la bibliografía internacional se suele incorporar este tipo de técnicas dentro de los sistemas de *water harvesting* (Reij, Mulder y Begeman, 1988, p.6; Nasr, 1999, p.31; Prinz, 1999, p.154; Abdo y Eldaw, 2004, p.84; Ouessar *et al.*, 2012, p.7, o Beckers, Berking y Schütt, 2013, p.147).

Se han elegido dos tipos de técnicas: la extracción de agua mediante norias “de sangre” (para diferenciarlas de las norias fluviales) y la captación de aguas subálveas o subterráneas superficiales mediante galerías drenantes. En el caso de las norias, se ha elegido el principal sector existente en Túnez, en Testour, y se compara con un caso español con un medio ambiente similar, la llanura aluvial de un río meandrizante, el Xúquer en la Ribera Alta. En el caso de las galerías, se ha seleccionado un ámbito geomorfológico y climático concreto, el de las terrazas o lechos fluviales en la franja pluviométrica entre 300 y 400 mm. En estos ambientes, las cimbras y zanjas, según la tipología de Antequera (2015), son los tipos de galerías predominantes, tanto en Túnez como en el SE español. La decisión de seleccionar la franja pluviométrica entre 300 y 400 es debida a que las 7 galerías existentes en Túnez que aprovechan aguas subálveas tienen esas condiciones climáticas, todas ellas. En España, donde las galerías de aguas subálveas están en condiciones pluviométricas más dispares, se han estudiado solo las 23 que cumplen esta característica.

6.1. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBÁLVEAS CON GALERÍAS DRENANTES

En este apartado se describen los ejemplos seleccionados de galerías drenantes que captan aguas subálveas. Se trata de casos aislados que cumplen el criterio de presentar una homogeneidad pluviométrica y aprovechar este tipo de aguas subsuperficiales. El concepto de agua subálvea no sólo se restringe a las aguas subsuperficiales que circulan por debajo de lechos pedregosos (*ouedian* 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 la de Ain Oued el Kiss, en Kasserine (Hermosilla, Antequera y Fansa, 2013, p.72). Cuando esto ocurre, normalmente indica que los dos tipos de agua están contiguos y conectados.

Metodología

El punto de partida para nuestro análisis de las galerías drenantes en Túnez y España no es cero, como ha ocurrido en la mayor parte de los otros temas. El haber trabajado en varios proyectos de investigación previos en Túnez y España nos ha permitido participar en la elaboración de una base documental que ha facilitado la aplicación de criterios para la selección de los casos a analizar.

Para el análisis de los sistemas de aprovechamiento de aguas subálveas mediante las galerías drenantes, hemos hecho uso de esta base de datos del grupo de investigación ESTEPA, del Departamento de Geografía de la Universitat de València, ya que dispone de un inventario de las galerías de Túnez y un gran muestreo de captaciones en el SE español. En el sector oriental y suroriental español se han identificado unas 3.700 galerías, de las cuales se catalogó 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 galerías (100%), pero con un total notablemente inferior a las identificadas en el SE español.

La base de datos incluye también características y contextos ambientales de las galerías, entre ellas el tipo de agua o surgencia, es decir, la característica hidrogeológica básica, lo que ha facilitado en gran medida la selección. Ante la duda, se han considerado todas las galerías que en el apartado de “Tipo de acuífero” tuviesen la indicación de “subálveo” o “detrítico” y/o en “Ambiente geomorfológico general”, la indicación de “terracea” o de “cauce”, aun siendo conscientes de que podían incluirse galerías que no fuesen específicamente del modelo esperado: cimbras o zanjas que captan agua en esencia subálvea de grandes cursos pedregosos.

La metodología de análisis se basa en la explotación de la base de datos. Para ello, se han destacado las características de las galerías más comparables, como longitud, funcionalidad, número de bocaminas o lumbreras, estado de conservación, tipo de uso, etc, así como las variables ambientales indicadas en ella. Pero también se han parametrizado otros elementos no incluidos en esa documentación, como

la amplitud y la morfología del lecho en el sector de la galería o el tipo de ámbito geomorfológico inmediato.

6.1.1. Características generales del sistema

6.1.1.1. Tipos y elementos de las galerías

Existen bastantes investigaciones en las que se estudian y definen tipos concretos de galerías drenantes, alguno de ellos como propuestas tipológicas completas (Kobori, 1976; Barón y Carbonero, 1987; Cressier, 1989; Palerm, 2004; Gil Meseguer y Gómez Espín, 1993; Yazdi y Khaneiki, 2010). Algunas de ellas se centran en la tipología de *qanat*; otras 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 están clasificados según la propuesta elaborada por el grupo de investigación ESTEPA (Hermosilla *et al.* 2004, 2006 y 2008) y Antequera (2015) que combina básicamente tres criterios: el origen 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, en este apartado, tanto las españolas como las tunecinas, pertenecen a las siguientes tipologías:

- **Cimbra y cimbra con lumbreras laterales:** Captan las aguas subálveas y/o detríticas aluviales cuaternarias y suelen 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 y con un desnivel muy escaso. La cimbra con lumbreras laterales u horizontales posee las mismas características que la cimbra, pero con la particularidad de poseer la doble función de ser el inicio de una acequia de riego, y servir como un acceso al interior de la captación para las labores de construcción, y posteriormente de reparación, limpieza y mantenimiento.
- **Zanja:** No utilizan una técnica minera de excavación, ya que es suficiente la perforación de una zanja o trinchera a cielo abierto en los 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, por lo que es difícil encontrarla sin alteraciones.
- **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. En el tramo más cercano a la bocamina, la captación es una zanja, recubierta con lajas de piedra. Conforme nos adentramos en el minado, hacia su cabecera, cuenta con varias lumbreras o pozos de aireación, y su profundidad aumenta de forma considerable.

- **Mina:** Excavaciones subterráneas a partir de la profundización de un manantial o una surgencia. Este tipo de captación posee una escasa longitud, aunque existen excepciones en los casos de galerías más modernas, perforadas en el último siglo, con modernas técnicas mineras. No disponen de pozo madre ni de lumbreras.
- **Qanat:** Son 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. Se excava desde la bocamina hasta el pozo madre. Posee varias lumbreras verticales o respiraderos en su trazado. Estos registros se utilizaban como entradas a la captación, y como vías de iluminación y aireación, además de su uso para la extracción de los escombros durante la construcción de la galería.
- **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. Su construcción debe producirse en un lugar donde las condiciones hidrogeológicas sean las idóneas. 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).

6.1.1.2. Las galerías de aguas subálveas

Como hemos comentado anteriormente, en este capítulo vamos a tratar sólo las galerías drenantes que captan aguas de origen subálveo y/o detrítico de materiales aluviales cuaternarios. De las 125 galerías inventariadas y catalogadas en Túnez, son sólo siete las captaciones que explotan aguas con dicho origen (cuatro en Kasserine, dos en Kairouan y una en Sousse). Todos estos minados se emplazan en la franja pluviométrica entre 300 y 400 mm, y pertenecen a tipologías típicas de ámbito de cursos y terrazas fluviales (tres cimbras, tres cimbras-zanja y una presa subálvea).

En el SE español, de las 300 galerías catalogadas, 70 captan aguas de origen subálveo y/o detrítico de materiales aluviales cuaternarios. Estas se reparten entre las franjas pluviométricas comprendidas entre 100mm y 1000mm. 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 300mm y 400mm (dos en Albacete, dos en Alicante, 14 en Almería, 4 en Murcia y una en Valencia).

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) sin embargo, existen cuatro galerías (tres *qanats* y una mina) que se emplazan fuera de su contexto geomorfológico habitual.

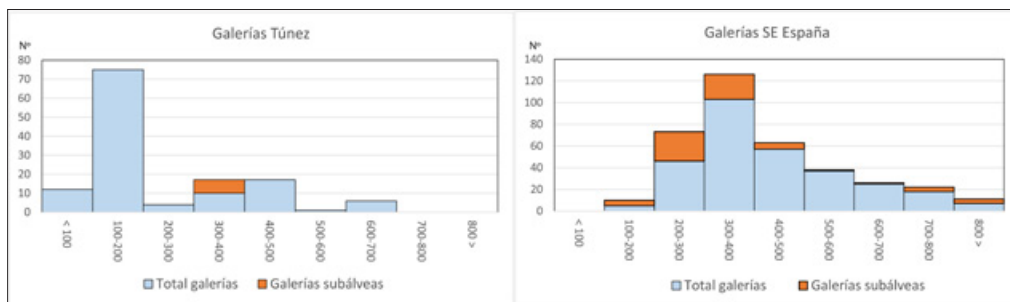


Figura 6.1: Distribución de las galerías drenantes según las precipitaciones anuales medias en mm, en SE español y Túnez. Se distinguen las de origen de agua subálveo.

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

Tabla 6.1: Relación de las galerías analizadas en Túnez.

Galería	Municipio	Delegación	Gobernación	Tipología	X	Y	Uso
Ain Oued el Kiss	Talabit	Feriana	Kasserine	Cimbranzanja	463.355	3.868.466	Regadío (8 ha)
Ain Oued Kharroub	Sousse	Sousse-Jawhara	Sousse	Cimbra	645.832	3.966.538	Abastecim.
Ain Oued Sbeitla	Sbeitla	Sbeitla	Kasserine	Cimbra	510.741	3.900.247	Abastecim.
Ain Shrishira	Shrishira	Haffouz	Kairouan	Cimbranzanja	573.274	3.944.209	Abastecim.
Bir el-Adine	Houfia	Haffouz	Kairouan	Cimbra	567.741	3.946.658	Abastecim.
Galería de Oued el Mamoura	Feriana	Feriana	Kasserine	Cimbranzanja	461.262	3.868.689	Regadío
Galería de Oued Bou Haya	Feriana	Feriana	Kasserine	Presa subálvea	461.303	3.868.803	Regadío (73,9 ha)

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

6.1.1.3. Usos y estado

En Túnez, en cuanto al uso del caudal derivado de los minados, cuatro de las siete galerías estudiadas están o estaban destinadas al abastecimiento de agua potable a la población, mientras que las tres 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 (uso mixto).

Destacan las galerías españolas por su “salud ambiental”, pues más del 80% de ellas siguen funcionales y alumbrando caudal al exterior. En Túnez, tres de las siete han dejado de funcionar totalmente.

De las 23 galerías españolas, doce no son visitables. De las once restantes, cinco cuentan con un estado óptimo de conservación, una de un estado excelente, 4 aceptable y una con un estado deficiente de conservación. En las galerías tunecinas, las cuatro funcionales se encuentran en un estado óptimo de conservación, dos de las demás en un estado deficiente y la última posee un estado regular de conservación.

Tabla 6.2: Relación de las galerías analizadas en el SE español.

Galería	Municipio	Provincia	Tipología	X	Y	Uso
Caño de La Hila	Chirivel	Almería	Cimbra-zanja	564.615	4.161.004	Mixto
Caño del Cambronero	Chirivel	Almería	Cimbra-zanja	565.678	4.161.017	Regadío
Cimbra de Los Vergara	Serón	Almería	Cimbra	538.985	4.131.624	Mixto
El Minat o Mina de Bufilla	Moncada	Valencia	Cimbra	723.732	4.382.532	Regadío
Fuente de El Mayordomo	Sorbas (El Mayordomo)	Almería	Zanja	578.080	4.108.701	Regadío
Fuente de La Balsa Vieja	Oria (El Daimuz)	Almería	Cimbra	566.563	4.150.797	Mixto
Fuente de Vega	Serón	Almería	Cimbra	540.803	4.133.533	Mixto
Fuente de Donatos	Serón	Almería	Cimbra	541.386	4.133.687	Regadío
Fuente de Padules	Purchena	Almería	Cimbra	552.807	4.134.109	Mixto
Fuente de Toribia	Cantoria (Almanzora)	Almería	Cimbra	576.550	4.133.550	Regadío
Galería Venta de Ossete	Lorca (La Paca)	Murcia	<i>Qanat</i>	604.735	4.191.603	Regadío
La Hoya de La Noguera	Mula	Murcia	Cimbra	632.277	4.195.191	Regadío
Mina de Las Canales o Barrenas	Aspe	Alicante	Mina	695.917	4.247.838	Mixto
Mina de San Vicente	Caudete	Albacete	<i>Qanat</i>	672.493	4.285.356	Regadío
Mina del Agua o Bienvenida	Petrer	Alicante	Cimbra	698.016	4.264.843	Mixto
Mina del Moto d de La Huerta de Arriba	Caudete	Albacete	<i>Qanat</i>	673.538	4.285.263	Regadío
Ojos de Luchena	Lorca	Murcia	Cimbra	593.072	4.182.785	Regadío
Pozos de La Fuente	Lorca (Avilés)	Murcia	Cimbra	607.073	4.197.301	Regadío
Zanja de Chaulena-Padules	Armuña de Almanzora	Almería	Cimbra-zanja	552.352	4.133.389	Regadío
Zanja de La Hoya Alta	Cantoria	Almería	Cimbra-zanja	566.997	4.134.871	Regadío
Zanja de La Huerta de Judas	Cantoria (Arroyo Albánchez)	Almería	Cimbra con lumbreras laterales	576.236	4.131.923	Regadío
Zanja del Burro o de Los Corella	Cantoria (Arroyo Albánchez)	Almería	Cimbra-zanja	575.543	4.130.537	Regadío
Zanja del Gadil	Armuña de Almanzora	Almería	Cimbra-zanja	551.497	4.133.646	Regadío

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

6.1.1.4. 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 a la existencia de manantiales (como la galería de El Arca del Agua, en Guadalupe, Cáceres, que aprovecha las cuarcitas fisuradas del Ordovícico (Antequera *et al.*, 2008a, p.188). Los *qanats* en glacis son capaces de llegar a freáticos alejados e incorporar 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 (Antequera *et al.*, 2008b, p.89), o la Mina de la Balsa de la Esperanza, en Montealegre del Castillo, Albacete (Antequera *et al.*, 2008a, p.169). Algunas galerías en terrazas aluviales cuaternarias se diseñan para concentrar surgencias difusas (como la Font del Port, Albaida, Valencia (Antequera y Pérez Cueva, 2006, p.116). La estrategia de las zanjas y cimbras de aguas subálveas, fundamentalmente, es la de 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.*, 2008a, p.133). 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 sacarla a una cota más alta. 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 mecinales laterales que drenan el agua hacia el interior de la mina (Antequera y Pérez Cueva, 2006, p.116). Otro diseño frecuente, para captar el máximo de aguas subálveas, en el fondo de lechos pedregosos, es ir atravesando de parte a parte el minado subterráneo, 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, Martínez y Gómez, 2011, p.2). 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 estas pueden recibir agua subálvea de cursos influentes, y quizá también de descargas laterales subterráneas.

Todas estas estrategias de adaptación y de captación pierden valor si el agua no dispone de un ambiente geomórfico apropiado y cercano para ser usada como regadío. Pero, el análisis de cientos de casos en el conjunto de estudios de ESTEPA nos ha mostrado 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, p.39) así lo muestran.

En el caso de las galerías aquí estudiadas, 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.

6.1.2. Contextos ambientales de los sectores seleccionados

Como se ha señalado en la introducción al apartado 6.1, el criterio de selección de las galerías estudiadas ha sido que captasen aguas subálveas y que tuviesen homogeneidad pluviométrica. Esto reduce el contexto ambiental climático, pues se estudian solo las situadas entre 300 y 400 mm, 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, está solo en la torrencialidad de las lluvias o en detalles de su régimen estacional.

En Túnez, todas las galerías que captan aguas subálveas o de acuíferos detríticos cuaternarios están situadas en la misma franja pluviométrica, entre 300 y 400 mm. (figs. 6.1 y 6.2). Ello las sitúa en el eje Sousse-Kairouan-Kasserine, que se corresponde con las franjas del clima “de transición” (estepario) con “sombra” semiárida y subárida de Henia (2008, p. 48) (fig. 4.30), 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 centro de Albacete; y d- valles y cubetas cerradas del Sistema Ibérico, como los del Turia o interior de Valencia.

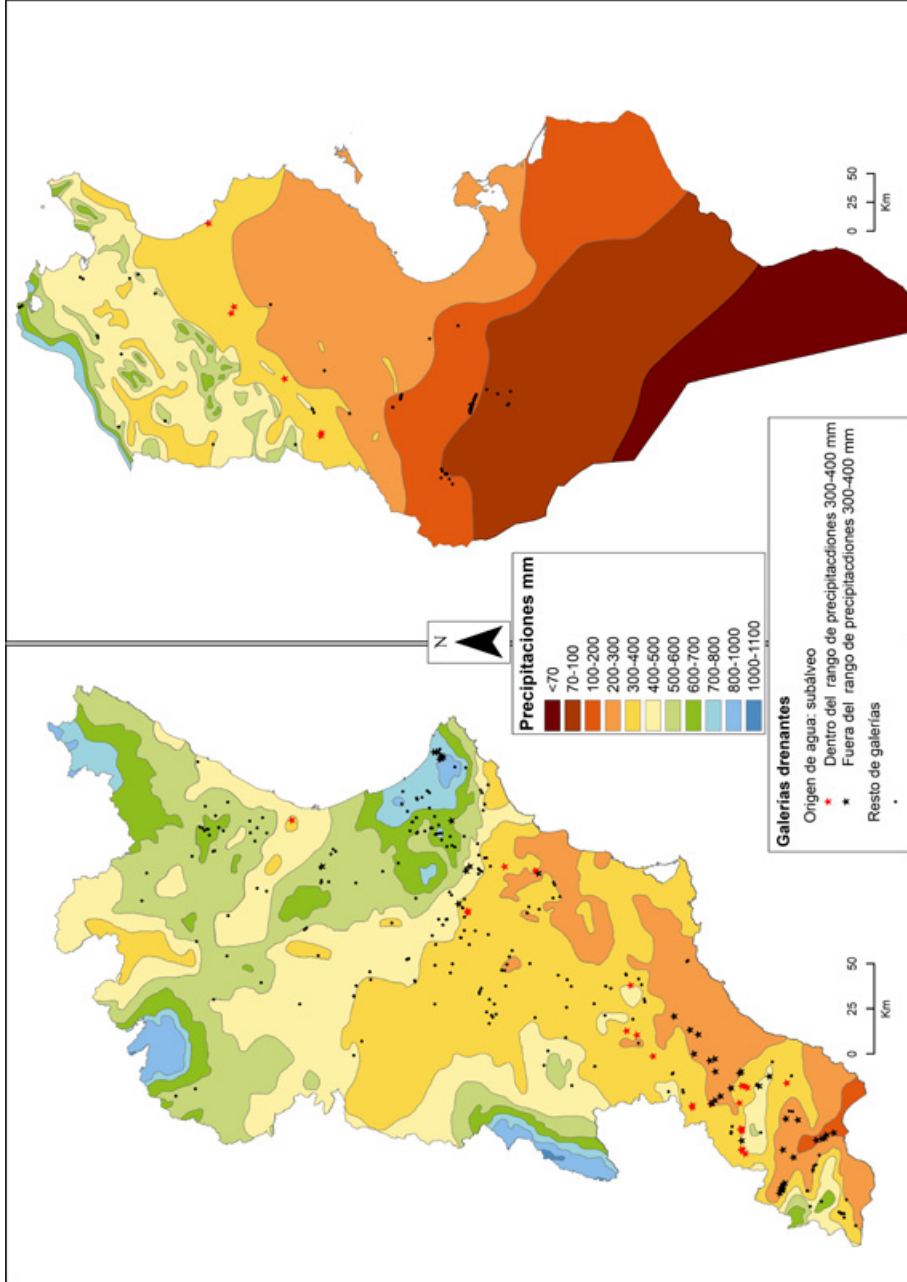


Figura 6.2: Localización de las galerías drenantes en el Levante español y Túnez, con indicación de las que son de contexto subálveo (estrella) y las estudiadas (en rojo).
Fuente: Elaboración propia.

En Almería, la pluviometría entre 300 y 400 mm se da en sectores no montañosos del interior de la provincia, sobre todo de su mitad N. En general, la aridez es debida a la sombra pluviométrica de los sistemas béticos sobre situaciones sinópticas del W y advecciones inestables del N y del NE, pero también al corto recorrido marítimo de las situaciones con componente S y E. Es una estepa intramediterránea, no una estepa de transición entre el clima mediterráneo y el desértico, como en Túnez.

En Murcia ocurre igual que en Almería, tanto el efecto de sombra pluviométrica de las Béticas, el corto recorrido marítimo de los vientos inestables del cuadrante SE, o que los sectores más áridos, por debajo de 300mm (no considerados), se sitúan en el litoral. Mientras, los altiplanos y cubetas interiores son algo más húmedos, y las sierras interiores todavía más.

En Albacete e interior de Alicante es donde se da una mayor extensión de tierras entre 300 y 400 mm, fruto en parte de los factores señalados y de la continentalidad (en el sentido de máximo recorrido terrestre de las advecciones inestables).

En Valencia, finalmente, los escasos y reducidos sectores por debajo de 400mm anuales, en un contexto general más lluvioso, se dan en valles y cubetas interiores con efectos acusados de sombra pluviométrica, como el valle de Ayora, la cubeta de Casinos o el bajo Turia, donde se ubica la única galería considerada en este sector.

6.1.2.1. Galerías de aguas subálveas en Túnez

Geología

Las siete galerías de aguas subálveas tunecinas se encuentran localizadas en tres sectores de la misma franja estructural. A gran escala, la homogeneidad de la franja climática en la que se ubican se traduce en una cierta homogeneidad geológica. Todas pertenecen al sector de relieve señalado en el apartado 1.3.2.A.b como “Sector de depresiones y planicies centrales” y, dentro de él, al arco interior 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 (fig. 1.12) este eje formaría parte del dominio del Atlas, al sur de la dorsal central, es decir, el sector en la que los *djibal* son arrugas aisladas y comienzan a haber pequeñas *shebkat* entre ellos.

En la figura 6.3 puede observarse el carácter general de estos pliegues y de las depresiones entre ellos. 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. En el sector de pliegues, las depresiones neógenas y cuaternarias son mucho más amplias y conectadas entre sí.

Los pliegues anticlinales asoman a modo de islas alargadas en medio de las depresiones. Están constituidos, 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.).

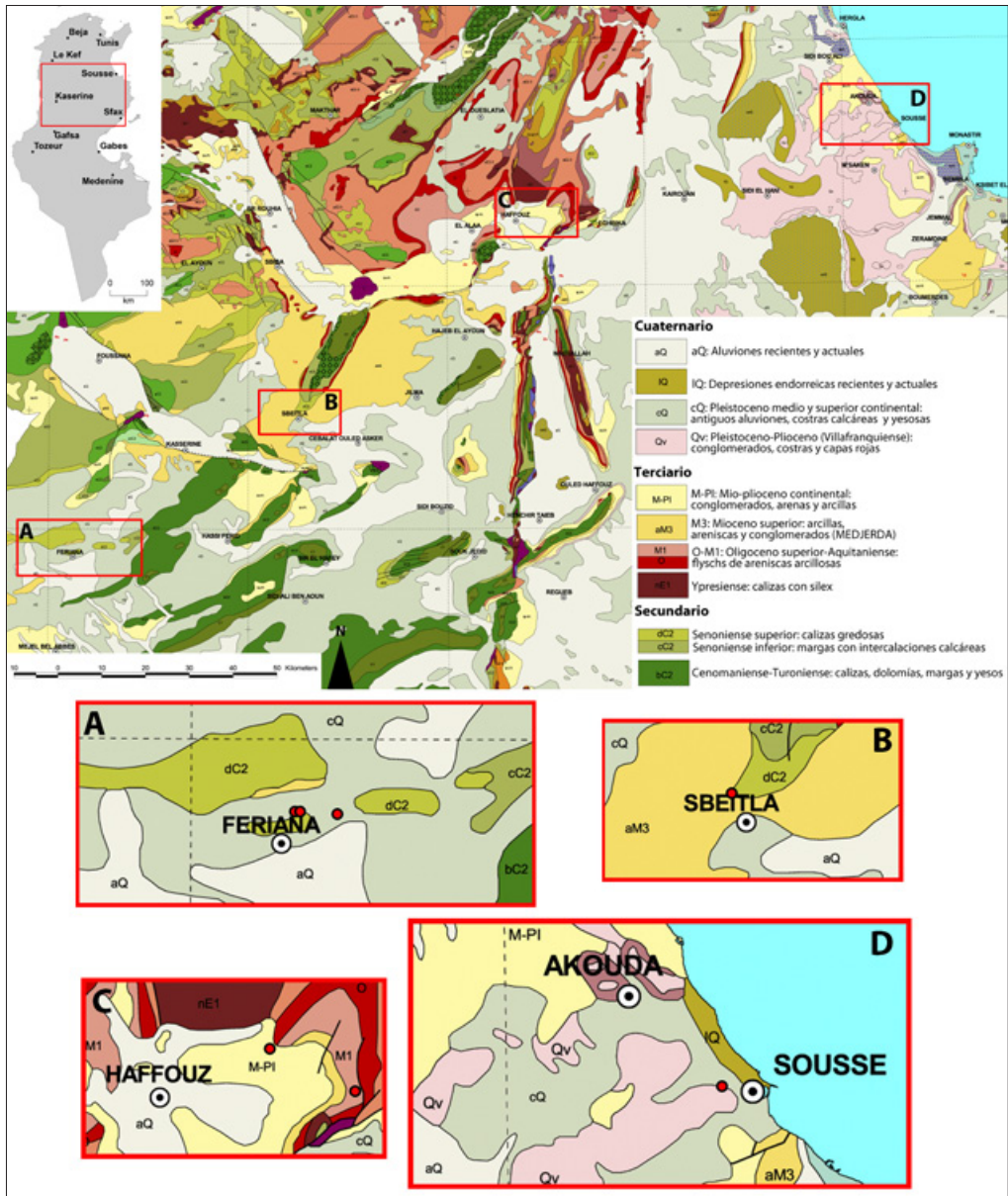


Figura 6.3: Geología del Túnez central, con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subterráneas.

Fuente: Elaboración propia, a partir del Mapa Geológico de Túnez, 1:500.000 (Ben Haji *et al.*, 1985).

En la parte oriental, los pliegues, igualmente aislados, 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:

a- 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.

b- 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.

c- 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.

d- La galería de Sousse, finalmente, está en un dominio geológico diferente, explicado en el apartado 3.2.2.A, una plataforma de materiales miopliocenos y cuaternarios que reposan sobre el basamento de una plataforma pelágica.

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. Pero 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. La mayor parte de los *ouedian* donde están las galerías estudiadas tienen cuencas grandes.

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 fig. 6.4 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, p. 22). Los records tunecinos de precipitaciones diarias más copiosas se dan en Sousse (con más de 350mm) (Hlaoui, 2008, p.24). En Kasserine se han llegado a alcanzar 100 mm y en Kairouan, 200 mm. La torrencialidad, como muestra la fig. 5.28 del apartado 5.3.1.2, va decreciendo paulatinamente de E a W (Zahar y Laborde, 2007, p.421), pero es suficiente para hacer funcionar regularmente los sistemas hídricos en el interior.

Geomorfología e hidrología

Se ha analizado también el tipo de contexto geomorfológico por el que discurre la galería, en esencia si se trata de un lecho pedregoso o si discurre por terrazas fluviales. Se ha realizado a partir del trazado de las galerías, para elaborar una hipótesis más precisa sobre el tipo de agua. En la tabla 6.3 se incluyen estos y otros parámetros

ambientales ya analizados. Destaca 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 Oued Sbeitla, Ain Shrishira).

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.

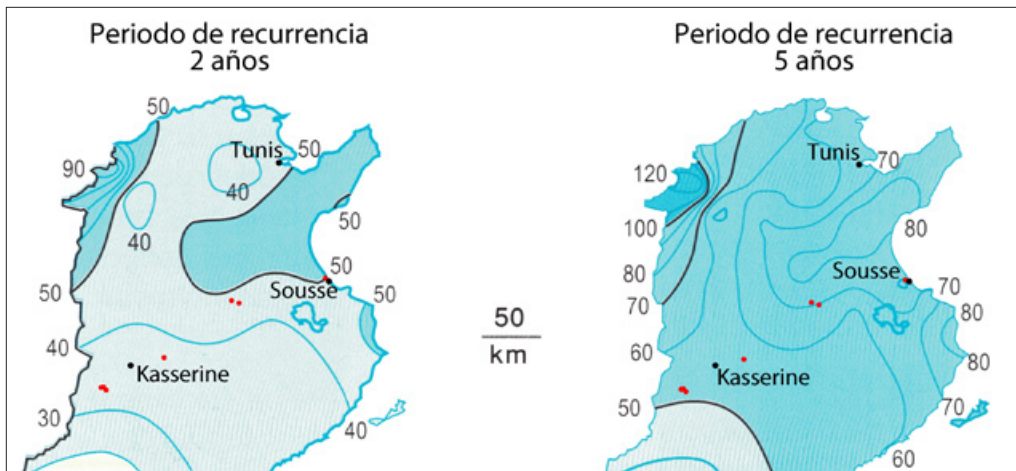


Figura 6.4: Localización de las galerías estudiadas en relación con las precipitaciones máximas diarias para periodos de recurrencia de 2 y 5 años.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Ben Sakka y Boughrara (2008, p.22).



Figura 6.5: Cauce del Oued Shrishira, en el área de captación de Ain Shrishira.

Fuente: Autor.



Figura 6.6: Cauce del Oued Kharroub. Obsérvese una de las lumbreras de Ain Oued Kharroub.

Fuente: Autor.

Tabla 6.3: Características ambientales de las galerías estudiadas en Túnez.

Nombre de la foggara	Tipología	Funcionalidad	Ambiente geomorfológico	Anchura del cauce (m)	Tipo de cauce	Longitud (m)	Altura bocamina (m)	Cuenca Neógena Intramontana	Capa impermeable
Ain Oued el Kiss	Cimbranzanja	Con caudal	Cauce y terraza	15-20	No pedregoso	1.196	762	Sí	Arcillas miocenas
Ain Oued Kharroub	Cimbra	Sin caudal	Terraza	-	-	4.450	22	No	Arcillas miopliocenas
Ain Oued Sbeitla	Cimbra	Con caudal	Cauce	35-60	Pedregoso-rocoso	767	543	Sí	Arcillas mioocenas
Ain Shrishira	Cimbranzanja	Con caudal	Cauce y terraza	20-110	Pedregoso-arenoso	1.148	229	Sí	Arcilla miopliocenas
Bir el-Adine	Cimbra	Sin caudal	Glacis y terraza	-	-	692	310	Sí	No compete
Galería de Oued el Mamoura	Cimbranzanja	Sin caudal	Cauce y terraza	20-25	Pedregoso	617	761	Sí	Arcillas miocenas
Galería de Oued Bou Haya	Presasubálvea	Con caudal	Cauce y terraza	15-40	Pedregoso	312	761	Sí	Arcillas miocenas

Fuente: Elaboración propia.

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 subálvea. 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, p.129) no responde casi al modelo aquí analizado, sino que parece ser un conjunto de minados de aguas de acuíferos no detríticos que atraviesan en su parte final sedimentos cuaternarios.

6.1.2.2. Galerías de aguas subálveas en el SE español

Geología

Las 23 galerías analizadas del SE español se localizan en cuatro sectores principales, salvo el caso aislado de la galería de Bofilla, en 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 Bc. 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, pp.125). 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 habitual (Pérez Cueva y Calvo, 1986, p.406 y p.409).

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, p.399), es para referirse a cauces con cuencas de pequeñas dimensiones, muchas de ellas 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. En el caso de las almerienses, están casi todas ellas (10 galerías, fig. 6.7 A) en el valle del Almanzora. El río discurre por una estrecha cuenca neógena, con sustrato de arcillas tortonienses y margas andalucienses, entre materiales de los complejos Nevado-filábride al S y Alpujárride al N.

El contexto geológico de estas galerías es perfecto. La 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, pero al S de la sierra de Filabres. 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 (fig. 6.7 B) se reparten entre los dominios bético interno y subbético. 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 Cambroner 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 (fig. 6.7 C), 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. La de Ojos de Luchena no es una galería de aguas subálveas; el agua procede de una descarga en terrazas fluviales 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 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. Esta rambla, de la cuenca del Guadalentín, es 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 (fig. 6.7 D). 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. El único aporte de aguas de acuíferos detríticos superficiales es 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.

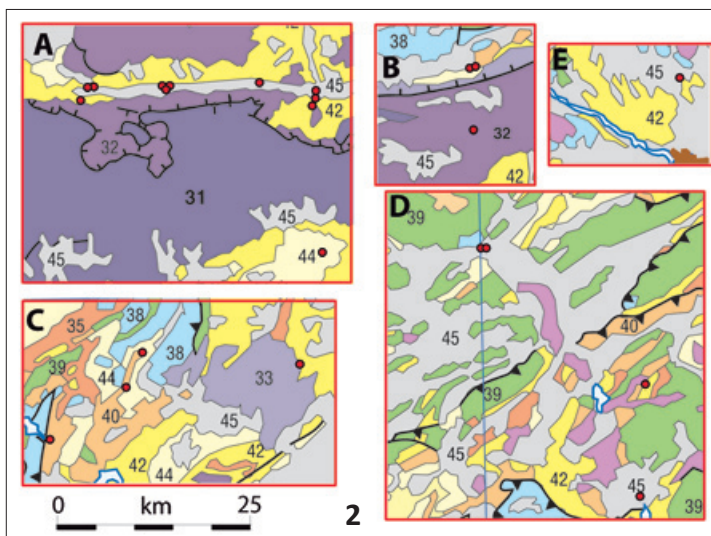
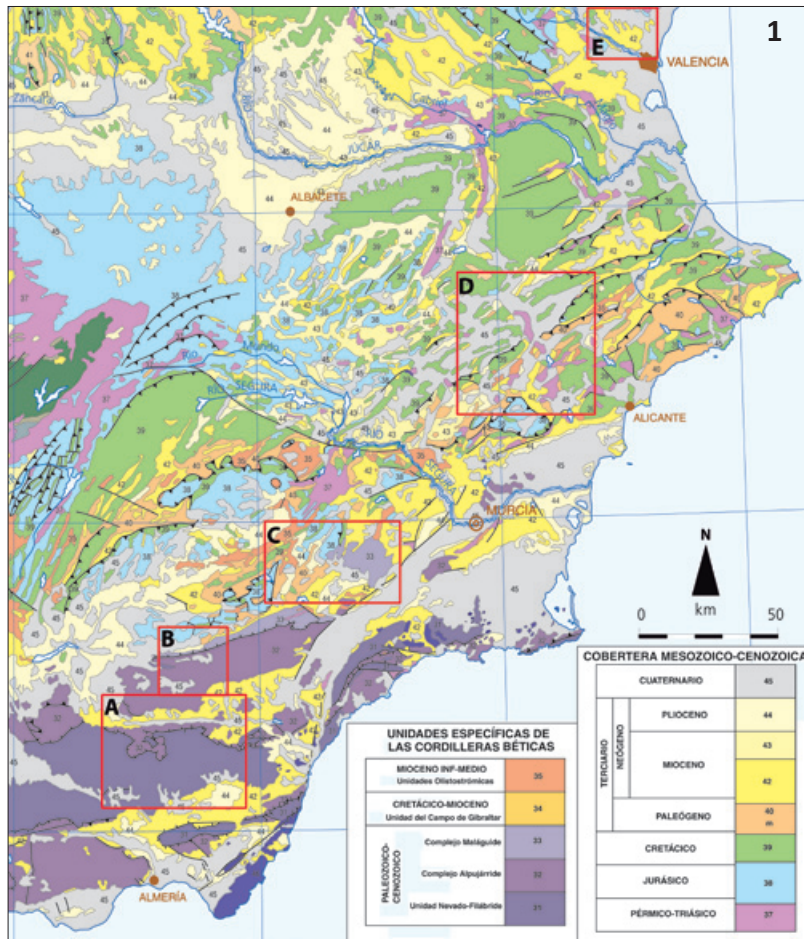


Figura 6.7: Geología del SE español (1), con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subálveas (2).

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

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, por ejemplo 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, p.655) fijan un umbral de 60mm/día 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, pp.135-136- 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, p.70), se sitúan respectivamente en 65'9 y 62'4 mm/día.

Pero, normalmente, unas lluvias diarias superiores a 30mm, suelen ser suficientes para provocar la escorrentía en las cuencas más arcillosas del SE semiárido. En el **apartado 5.3** se detallan estudios que hacen referencia a umbrales de escorrentía en Alicante y Murcia, y se destaca, también, la importancia de la intensidad de la lluvia.

En la figura 6.8 puede apreciarse que estos valores de torrencialidad son habituales en el Levante español. En el área de emplazamiento de las galerías, los valores de participación de la lluvia diaria superior a 30mm sobre el total anual están entre el 20% y el 30% en casi todos los casos, y cercanos al 40% en la del Carraixet.

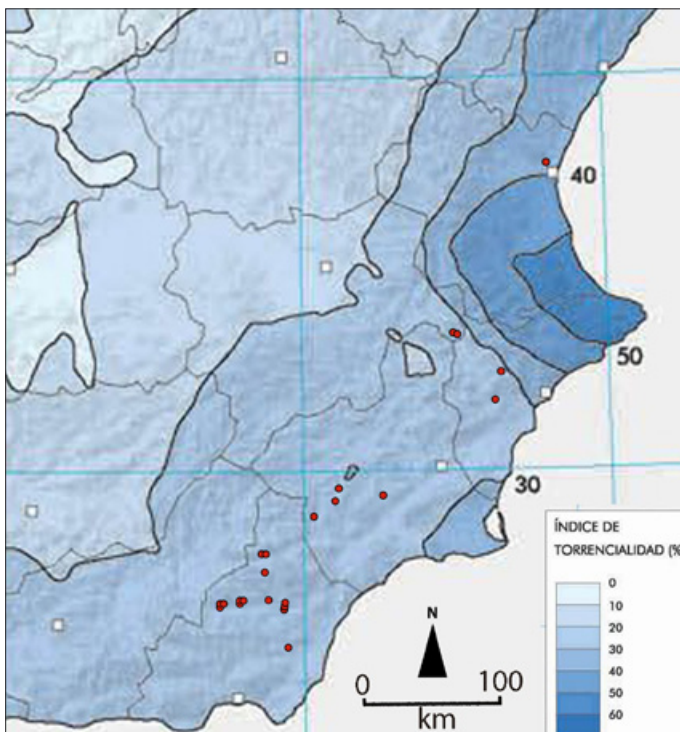


Figura 6.8: Emplazamiento de las galerías subálveas estudiadas en el mapa del "Índice de torrencialidad" de las lluvias" (relación porcentual de las precipitaciones diarias superiores a 30mm respecto a la anual).

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

Ello quiere decir que cerca de 100mm al año caen en condiciones propicias para que funcionen los sistemas hídricos. Incluso en algunos lugares (como en la Safor y la Marina Alta) estos valores llegan a superar el 50% de cantidades anuales cercanas a 800mm. Este es un sector no estudiado aquí (ej. valles del Riu Gorgos o Riu Girona), con gran cantidad de galerías de aguas subálveas o detríticas cuaternarias, lo que demuestra la importancia de este factor.

Geomorfología e hidrología

Como en las galerías de Túnez, también aquí se ha analizado el tipo de contexto geomorfológico por el que discurre la galería, y se ha tratado de elaborar una hipótesis más precisa sobre el tipo de agua. En la tabla 6.4 se incluyen estos y otros parámetros ambientales ya analizados.

En esencia, destacan tres 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 Bufilla, 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 Mondéjar, en el vecino valle del Andarax (Antequera y Pérez Cueva., 2006, p.150), que parece recoger las aguas del acuífero de La Calderona, un acuífero de unos 200km² y más de 300 metros de espesor (I.T.G.E. y Junta de Andalucía, 1998, p.147). 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 300m de galería.



Figura 6.9: Bocamina de la Zanja de la Huerta de Judas. Obsérvese los materiales de depósito cuaternario de la terraza fluvial.

Fuente: Autor.



Figura 6.10: Cauce amplio y pedregoso del barranco de Albánchez, a la altura de la penúltima lumbrera de la Zanja de la Huerta de Judas.

Fuente: Autor.

Estas galerías están relacionadas con cauces que tienen cuencas de notables dimensiones, de 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 los 2.000 m en la Fuente de Toribia), sin contar el caso excepcional de la de Bofilla, en Bétera (con una longitud de 3.700m).

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 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 atraviese 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 altura media de la bocamina 625m, ya que se localizan sobre todo en los altiplanos y cubetas interiores del dominio prebético y subbético.

Otro tipo también muy diferente es el de la galería de los Ojos de Luchena, que capta aguas de una gran surgencia en materiales detríticos. Estas galerías, a las que hemos denominado **“de surgencia”**, constituyen ejemplos excepcionales o escasos, y todavía más en medios semiáridos, donde no abundan los grandes manantiales. La longitud del minado no es un parámetro significativo, y puede ser muy variable. El diseño de la galería está adaptado a cada contexto ambiental concreto para conseguir concentrar una surgencia difusa y elevar al máximo la bocamina.

Finalmente tenemos un conjunto de bocaminas 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 pedregosos. Este grupo presenta unos cortos recorridos, con una longitud media de unos 300m.

6.1.3. Características de las galerías

Se aborda también un último apartado en el que se analizan las características constructivas y funcionales de las galerías estudiadas. Para resumirlas, se han elaborado dos tablas (6.5 y 6.6) en las que se describen la tipología de los minados, el número de lumbreras que poseen, la existencia o no de bifurcaciones, su estructura interna (tanto la cubierta como la solera) y su estado de conservación. El objetivo es ver si, ante unas mismas condiciones ambientales, se dan características diferentes que impliquen rasgos culturales, históricos o socioeconómicos diferentes en su explicación. O si, por el contrario, los diseños y soluciones adoptados son en esencia similares.

6.1.3.1. Galerías tunecinas

La totalidad de las galerías estudiadas en Túnez pertenecen a las tipologías de cimbra o cimbra-zanja menos una, que es una presa subálvea (ver tabla 6.1). Son tipologías propias de ámbitos geomorfológicos de cauces o terrazas fluviales, o ambos ámbitos a la vez. La tipología del minado, se determina, en gran medida, por las técnicas constructivas empleadas en su realización, y por lo tanto, su estructura interna guarda estrecha relación con la tipología. Así, 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.

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 300m (Galería Oued Bou Haya) a 4’5 km, como es el caso de Ain Oued Kharroub, en Sousse.



Figura 6.11: Oued Sbeitla. Obsérvese la bifurcación, que se adentra en la *Oued*, de la galería de Ain Oued Sbeitla con sus lumbreras pentagonales aproadas a la dirección del flujo.

Fuente: Autor.

Tabla 6.4: Características ambientales de las galerías estudiadas en el Sureste español.

Nombre de la galería	Tipología	Funcionalidad	Ambiente geomorfológico	Anchura del cauce	Tipo de cauce	Longitud (m)	Bocamina (m.s.n.m)	Cuenca Neógena Intramontana	Capa impermeable	Tipología ambiental
Caño de La Hila	Cimbra-zanja	Sin caudal	Mixta cauce y terraza	10m	No pedregoso	300	1.044	Sí	Conglomerados y arcillas pliocuaternarios	4
Caño del Cambrero	Cimbra-zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	10m	No pedregoso	350	1.031	Sí	Conglomerados y arcillas pliocuaternarios	4
Cimbra de Los Vergara	Cimbra	Con caudal	Terraza	-	-	300	870	No	Filitas y cuarcitas permotriásicas	4
El Minat o Mina de Bufilla	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	75-140m	Pedregoso	3.700	47	No	No compete	1
Fuente de El Mayordomo	Zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	50-75m	Pedregoso	450	411	Sí	Margas del Plioceno superior	1
Fuente de La Balsa Vieja	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	20-25m	Pedregoso	350	856	No	Filitas y cuarcitas permotriásicas	1
Fuente de Vega	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	25-30	Pedregoso	600	789	Sí	Conglomerados de matriz arcillosa tortonienses	1
Fuente de Donatos	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	25-35m	Pedregoso	1.000	783	Sí	Conglomerados de matriz arcillosa tortonienses	1
Fuente de Padules	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	25-80m	Pedregoso	1.500	600	Sí	Conglomerados de matriz arcillosa tortonienses y margas andalucenses	1
Fuente de Toribia	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	45-70m	Pedregoso	2.000	329	Sí	Conglomerados con matriz arcillosa y arcillas del Tortonense	1
Galería Venta de Ossete	Qanat	Con caudal	Glacis y terraza	-	-	1.075	709	Sí	Margas y arcillas pliocenas	2
La Hoya de La Noguera	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	5-10m	Pedregoso	1.125	572	No	Keuper	1

Nombre de la galería	Tipología	Funcionalidad	Ambiente geomorfológico	Anchura del cauce	Tipo de cauce	Longitud (m)	Bocamina (m.s.n.m)	Cuenca Neógena Intramontana	Capa impermeable	Tipología ambiental
Mina de Las Canales o Barrenas	Mina	Con caudal	Terraza	-	-	100	200	Sí	Margas miocenas (?)	4
Mina de San Vicente	Qanat	Sin caudal	Glacis y terraza	-	-	1.275	593	Sí	Margas "tap"	2
Mina del Agua o Bienvenida	Cimbra	Sin caudal	Mixta cauce y terraza	10-15m	Pedregoso	800	615	Sí	Facies "tap"	1
Mina del Moto d de La Huerta de Arriba	Qanat	Sin caudal	Glacis y terraza	-	-	2.265	575	Sí	Margas "tap"	2
Ojos de Luchena	Cimbra	Con caudal	Manatíal en terraza	-	-	840	579	No	Margas tránsito Cretácico superior-Paleoceno	3
Pozos de La Fuente	Cimbra	Con caudal	Mixta cauce y terraza	2-5m	No pedregoso	550	800	Sí	Margas y arcillas pliocenas	4
Zanja de Chauleña-Padules	Cimbra-zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	30-40m	Pedregoso	800	609	Sí	Conglomerados con matriz arcillosa y arcillas del Tortonense	1
Zanja de La Hoya Alta	Cimbra-zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	50-70m	Pedregoso	1.020	358	Sí	Conglomerados arcillosos del Tortonense y margas andalucenses	1
Zanja de La Huerta de Judas	Cimbra con lumbreras laterales	Con caudal	Mixta cauce y terraza	15-70m	Pedregoso	403	338	Sí	Conglomerados con matriz arcillosa y arcillas del Tortonense	1
Zanja del Burro o de Los Corella	Cimbra-zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	30-90m	Pedregoso	300	359	Sí	Conglomerados con matriz arcillosa y arcillas del Tortonense	1
Zanja del Gadil	Cimbra-zanja	Con caudal	Mixta cauce y terraza	25-50m	Pedregoso	648	627	Sí	Margas y arcillas tortonienses y andalucenses	1

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.12: Interior de la galería de Oued Bou Haya.

Fuente: Autor.

Todas las captaciones cuentan con lumbreras, o pozos de aireación. Aunque su número es dispar, por lo general, cuanto más recorrido, más lumbreras tienen. 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 minados 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 del país, solo el 13% de las galerías goza de un óptimo estado de conservación (Fansa, Antequera y Hermosilla, 2017, p.312), en cambio, en las analizadas aquí, el 57% se encuentran en óptimo estado de conservación.

A efectos de una descripción más detallada, y como ejemplo de galería tunecina, hemos elegido la galería de Ain Oued el Kiss. No se trata de una de las más características desde un punto de vista ambiental (ver apartado 6.1.2.1), aunque sí en cuanto a tipología constructiva, pero al estar funcional y disponer de sistema de regadío nos permite ampliar la comparación a otros aspectos.

Ain Oued el Kiss

Esta galería se sitúa al sur del municipio de Thelepte, en la delegación de Feriana (Kasserine). Hidrográficamente se enmarca en la cuenca del Oued el Kiss, tributario del Oued Sidi Aich. En ella se distinguen tres partes diferenciadas: el minado principal, un canal a cielo abierto y una galería de transporte con posible función de captación. La longitud total del sistema es de 1.196 m, de los cuales 783 m siguen el trazado

del *Oued* y 413 m se adentran en la terraza fluvial derecha, alejándose del cauce y salvando la cota necesaria para que las aguas puedan alcanzar la zona de regadío. Funciona como galería filtrante, ya que las aguas se infiltran desde la superficie a través de sus paredes y cubierta.

Se trata de una cimbra-zanja, subtipología que corresponde a captaciones situadas en los lechos y terrazas fluviales, y que combina las técnicas constructivas a cielo abierto, propias de las zanjas, con las técnicas mineras, característica de las cimbras. Su estado de conservación es óptimo.

El minado principal está compuesto por dos galerías. La más antigua se ubica en la terraza fluvial de la margen izquierda de *Oued el Kiss*. Cuenta con 250 m de longitud y cinco lumbreras, cuatro desaparecidas de las que ahora solo quedan vestigios que indican el gran diámetro que tenían, y una última lumbrera circular de piedra con argamasa, aún conservada. La segunda galería, posterior, tiene su origen en la margen izquierda de *Oued el Kiss* y sigue su recorrido por el lecho del mismo durante unos 400 m. El estudio de su trazado nos ha permitido identificar seis registros o pozos de aireación, innaccesibles. Sin embargo, al observar el interior de la galería desde la bocamina se aprecia que es de factura regular. Sus medidas son 0'50 m de altura y 0'35 m de anchura, excavada en la roca directamente y enlucida con cemento.

Tabla 6.5: Características constructivas de las galerías estudiadas en Túnez.

Nombre	Tipología	Número de lumbreras	Forma de las lumbreras	Estructura interna de la captación	Suelo de la captación	Bifurcaciones	Estado de conservación de la galería
Ain Oued el Kiss	Cimbra-zanja	25	Circulares y cuadradas	Cubierta plana o arquitrabada	De tierra	2	Óptimo
Ain Oued Kharroub	Cimbra	68	Circulares y cuadradas	Bóveda de cañón	Acequia central	No	Deficiente
Ain Oued Sbeitla	Cimbra	19	Cuadradas o pentagonales apreadas contra corriente	Bóveda de cañón	Desconocido	2	Óptimo
Ain Shrishira	Cimbra-zanja	26	Circulares y cuadradas	Cubierta plana o arquitrabada	De tierra	5	Óptimo
Bir el-Adine	Cimbra	12	Circulares y cuadradas	Bóveda de cañón	Desconocido	2	Deficiente
Galería de Oued el Mamoura	Cimbra-zanja	5	Circulares	Cubierta plana o arquitrabada	De tierra	No	Aceptable
Galería de Oued Bou Haya	Presa subálvea	15	Circulares y cuadradas	Bóveda de cañón y arco de descarga.	De tierra	No	Óptimo

Fuente: Elaboración propia.

Cuenta con un techo adintelado de losas rectangulares. Otro rasgo es que se trata de una galería de mediana profundidad, como suelen ser las cimbras-zanjas, ya que el pozo de aireación más profundo, que coincide con la cabeza del minado, se encuentra solo a 12 m de la superficie.

A partir de la bocamina empieza el canal a cielo abierto, que transcurre junto a la margen izquierda del Oued el Kiss. La acequia discurre hasta un acueducto funcional mediante el que las aguas salvan el cauce y se introducen en la terraza fluvial de la margen derecha. Tras ello, se inicia la tercera parte del sistema de Ain Oued el Kiss: una galería de transporte con posible función de captación.

Cuenta este último tramo de galería con 14 lumbreras o pozos de aireación, con una distancia media entre sí de 29 m y distintas profundidades, siendo la más profunda, la que está más alejada del *Oued* (4'10 m) y la más somera (1'80 m) la última, antes de la bocamina. La mayor parte de los registros son rectangulares (11 registros de entre 1'80 m y 1'50 m), pero también dos, de 1'85 m de diámetro, y un único registro cuadrangular de 1'30 m de lado.

La galería está excavada directamente en los materiales de la terraza, sin ningún tipo de revestimiento en las partes que alcanzan la roca dura; y reforzada con mampostería y cemento en las más deleznales. Presenta una forma adintelada, compuesta por una cubierta plana o arquiteada.

A partir de este punto empieza la red de acequias de riego del Oued el Kiss. El uso principal de estas aguas es el regadío de los huertos de la margen derecha, pero también son utilizadas para abastecer a las escasas cabezas de ganado que hay en la zona, sacando agua con poleas de una lumbrera. Esta red de acequias se compone por una principal de cemento, de sección cuadrada, que en origen era de tierra, denominada acequia de Ain Oued el Kiss.

Discurre a lo largo de 1.048 m a cielo abierto y cuenta con una balsa (*jabya*) antes de su finalización, con una capacidad de almacenamiento de 150 m³. De la acequia principal derivan 28 acequias de segundo nivel, denominadas localmente *hammala*, que reciben normalmente el nombre del propietario del campo al cual abastecen.

En los últimos años, ha disminuido la superficie regada por las aguas de la galería hasta la mitad, alcanzando hoy en día unas 8 ha. Existen tres formas de suministrar agua a los agricultores: las de la acequia principal, llamadas aguas del *wakkaf*, las de la balsa, llamadas aguas de la *jabya*, o el conjunto de las dos.

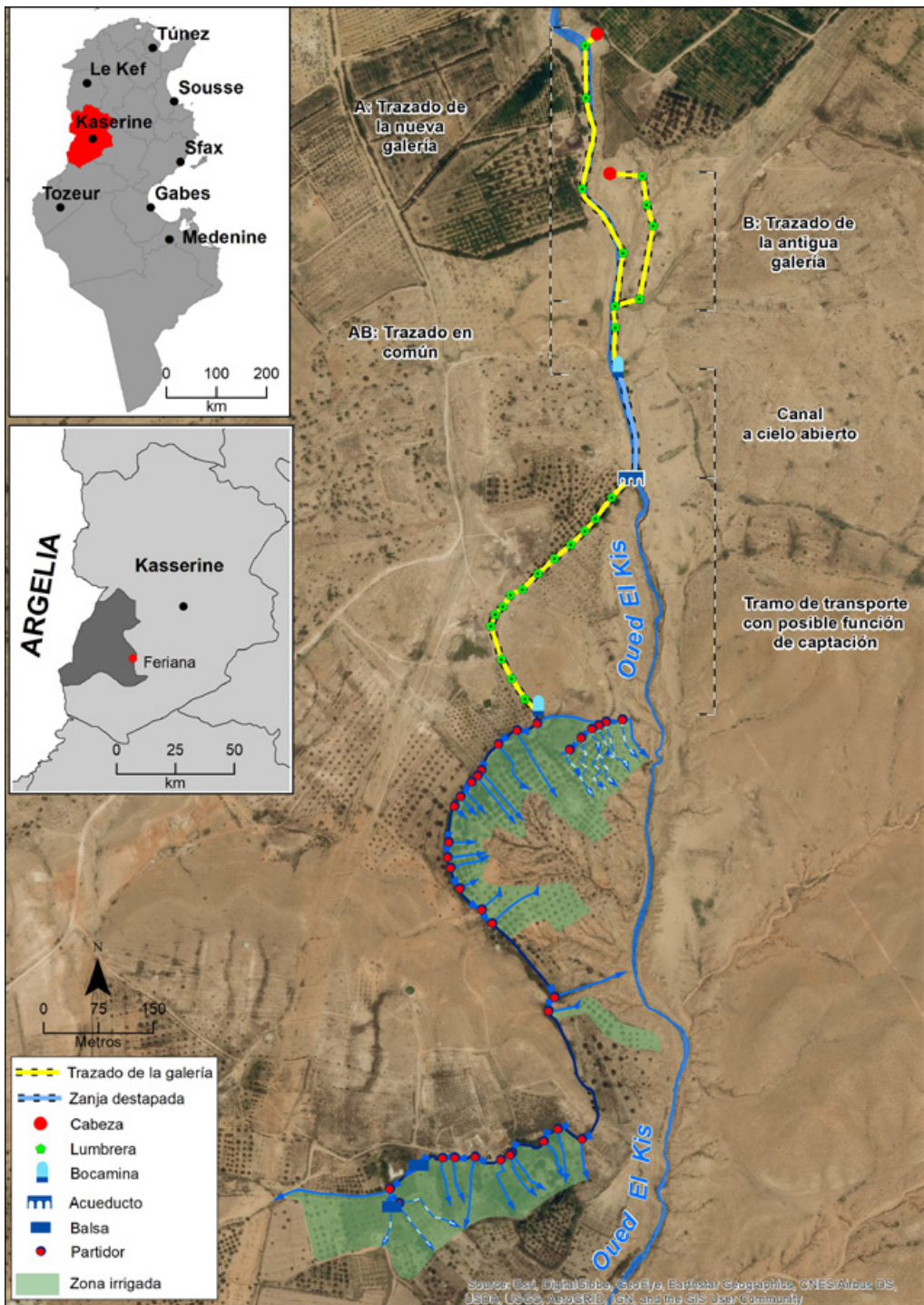


Figura 6.13: Mapa de Ain Oued el Kiss junto al sistema de regadío que abastece.

Fuente: Elaboración propia.

Los propietarios de los campos que están aguas arriba de la balsa pueden disfrutar la primera forma de suministro, mientras que el resto de los propietarios pueden combinar las tres formas, según sus necesidades.

El ciclo de riego cambia según la estación. Es de 17 días en invierno y 9 en verano, con la posibilidad de intercambiar horas de riego entre agricultores en función de la demanda de agua de cada cultivo. El derecho al uso del agua es gratuito para los propietarios, y proporcional a la superficie regada, y está regulado por la figura del partidor (*kassam*), persona de confianza elegida por los usuarios para que controle los tiempos de riego.

El cultivo que predomina en la zona es el olivo, seguido de árboles frutales e higueras, con la existencia en algunos campos de un piso inferior de hortalizas, en verano, y cultivos forrajeros en invierno.

6.1.3.2. Galerías del SE español

Las galerías analizadas en el sureste español presentan una mayor diversidad tipológica en comparación con sus homólogas tunecinas (ver tabla 6.6). 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, arco de descarga



Figura 6.14: Abrevadero e inicio del sistema de riego de la Zanja del Burro o de los Corella.

Fuente: Autor.



Figura 6.15: Bocamina de la Fuente de Toribia.

Fuente: Autor.

y dos tienen una sección irregular. Las seis restantes combinan, a lo largo de su recorrido, 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 100m (la Mina de las Canales o Barrenas) a 3'7 km (como es el caso de la Mina de Bufilla).

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 restantes, 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 de conservación.

Zanja del Gadil

Se localiza esta galería en el municipio de Armuña de Almanzora, en la comarca del Alto Almanzora (Almería). El agua alumbra a la superficie a través de una bocamina (X: 55.1609, Y: 4.133.854) ubicada en terraza fluvial, en la margen izquierda del río Almanzora. Recorre unos 650 metros desde el subálveo del mencionado río hasta la actual bocamina, situada en la partida de Molino.

En el tramo más cercano a la bocamina, la sección de la galería presenta una cubierta plana o arquitrabada, ya que este tramo se construyó a cielo abierto, haciendo una zanja, para posteriormente tajarla con losas de piedra. El siguiente tramo, que llega hasta la cabeza del minado, se construyó empleando técnicas mineras y practicando, de vez en cuando, pozos de aireación para la evacuación de los escombros resultantes de la excavación y para las tareas de mantenimiento del minado. En este tramo, la galería posee una sección más amplia, con forma de bóveda de cañón. La solera de toda la galería es de tierra, sin ningún tipo de revestimiento. Dispone de 20 lumbreras, todas ellas tapadas, con profundidades que oscilan entre 2'5 y 6 m. La cabeza está a 8'5 m. de profundidad. La construcción de esta galería data del año 1888. En un primer momento medía 548m pero, a causa de las sucesivas avenidas, se colmató la bocamina. Entre los años 1945 y 1946 se prologó unos cien metros, hasta la actual bocamina, que se halla más alejada del río.

Tabla 6.6: Características constructivas de las galerías estudiadas en el sureste español.

Nombre de la captación	Tipología de la captación	Número de lumbreras	Forma de las lumbreras	Estructura interna de la captación	Suelo de la captación	Bifurcaciones	Estado de conservación de la galería
Caño de La Hila	Cimbra-zanja	27	Desconocida	Cubierta plana o arquiteada	De tierra		Deficiente
Caño del Cambronero	Cimbra-zanja	12	Cuadradas	Cubierta plana o arquiteada	De tierra	No	No visitable
Cimbra de Los Vergara	Cimbra	2	Circulares	Bóveda de cañón	De tierra	3	Excelente
El Minat o Mina de Buñilla	Cimbra	15	Circulares, ovaladas y una trapezoidal	Bóveda irregular y bóveda de cañón	Liso impermeabilizado	No	Óptimo
Fuente de El Mayordomo	Zanja	5 (laterales)	Irregulares	Bóveda de cañón	De tierra	No	No visitable
Fuente de La Balsa Vieja	Cimbra	Varias	Desconocida	Desconocida	De tierra		No visitable
Fuente de Vega	Cimbra	3 reconocibles	Circulares	Bóveda de cañón	De tierra	1	No visitable
Fuente de Donatos	Cimbra	2	Circulares	Bóveda con arcos de descarga	De tierra	Sí	No visitable
Fuente de Padules	Cimbra	3 reconocibles	Rectangulares	Cubierta plana o arquiteada y bóveda de crucería	De tierra	3	Aceptable
Fuente de Toribia	Cimbra	3 reconocibles	Circulares	Cubierta plana o arquiteada	De tierra		No visitable
Galería Venta de Ossete	Qanat	30	Circulares y rectangulares	Desconocida	Liso impermeabilizado	Una (Y en cabeza)	No visitable
La Hoya de La Noguera	Cimbra	10	Circulares y ovaladas	Bóveda irregular	De tierra	2	No visitable

Nombre de la captación	Tipología de la captación	Número de lumbreras	Forma de las lumbreras	Estructura interna de la captación	Suelo de la captación	Bifurcaciones	Estado de conservación de la galería
Mina de Las Canales o Barrenas	Mina	No posee	-	Bóveda con arcos de descarga o rebajados y bóveda de cañón	Acequia lateral de piedra	3	Óptimo
Mina de San Vicente	Qanat	13	Circulares	Desconocido	Desconocida	No	Aceptable
Mina del Agua o Bienvenida	Cimbra	5	Circulares	Cubierta plana o adintelada, bóveda irregular y bóveda con arcos de tipo angular	De tierra	No	Aceptable
Mina del Moto d de La Huerta de Arriba	Qanat	39	Circulares	Bóveda de cañón	Liso impermeabilizado	No	Aceptable
Ojos de Luchena	Cimbra	20	Irregulares, circulares y cuadradas	Bóveda irregular	De piedra	Varias	No visitable
Pozos de La Fuente	Cimbra	19	Circulares y cuadradas	Cubierta plana o arquitebada, bóveda de cañón y bóveda irregular	De tierra y liso impermeabilizado	No	Óptimo
Zanja de Chaulena-Padules	Cimbra-zanja	Varias	Circulares	Cubierta plana o arquitebada	Liso impermeabilizado	No	No visitable
Zanja de La Hoya Alta	Cimbra-zanja	11	Cuadradas	Cubierta plana o arquitebada	De tierra	1	Óptimo
Zanja de La Huerta de Judas	Cimbra con lumbreras laterales	12	Cuadradas	Cubierta plana o arquitebada	De tierra	Sí.	No visitable
Zanja del Burro o de Los Corella	Cimbra-zanja	Varias	Cuadradas	Cubierta plana o arquitebada	De tierra	1	No visitable
Zanja del Gadil	Cimbra-zanja	20	Circulares	Bóveda de cañón y cubierta plana o arquitebada	De tierra	1	Óptimo

Fuente: Elaboración propia.

La red de distribución de las aguas de riego de esta galería es bastante extensa. Posee una longitud total de unos 8,5km, de los cuales, unos 3km son acequias subterráneas. Para poder salvar la autovía y los demás obstáculos topográficos, cuenta con cinco sifones. Los sobrantes de agua retornan al Río Almanzora en la superficie regada al sur, o a la Rambla de Lúcar al norte.

En **conclusión**, del análisis de las características medioambientales de las galerías se deduce que los factores que propician su emplazamiento son muy similares en el Levante 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 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.

Todos estos 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 comparables.



Figura 6.16: Bocamina actual e inicio de la red de acequias en la Zanja del Gadil.

Fuente: Autor.

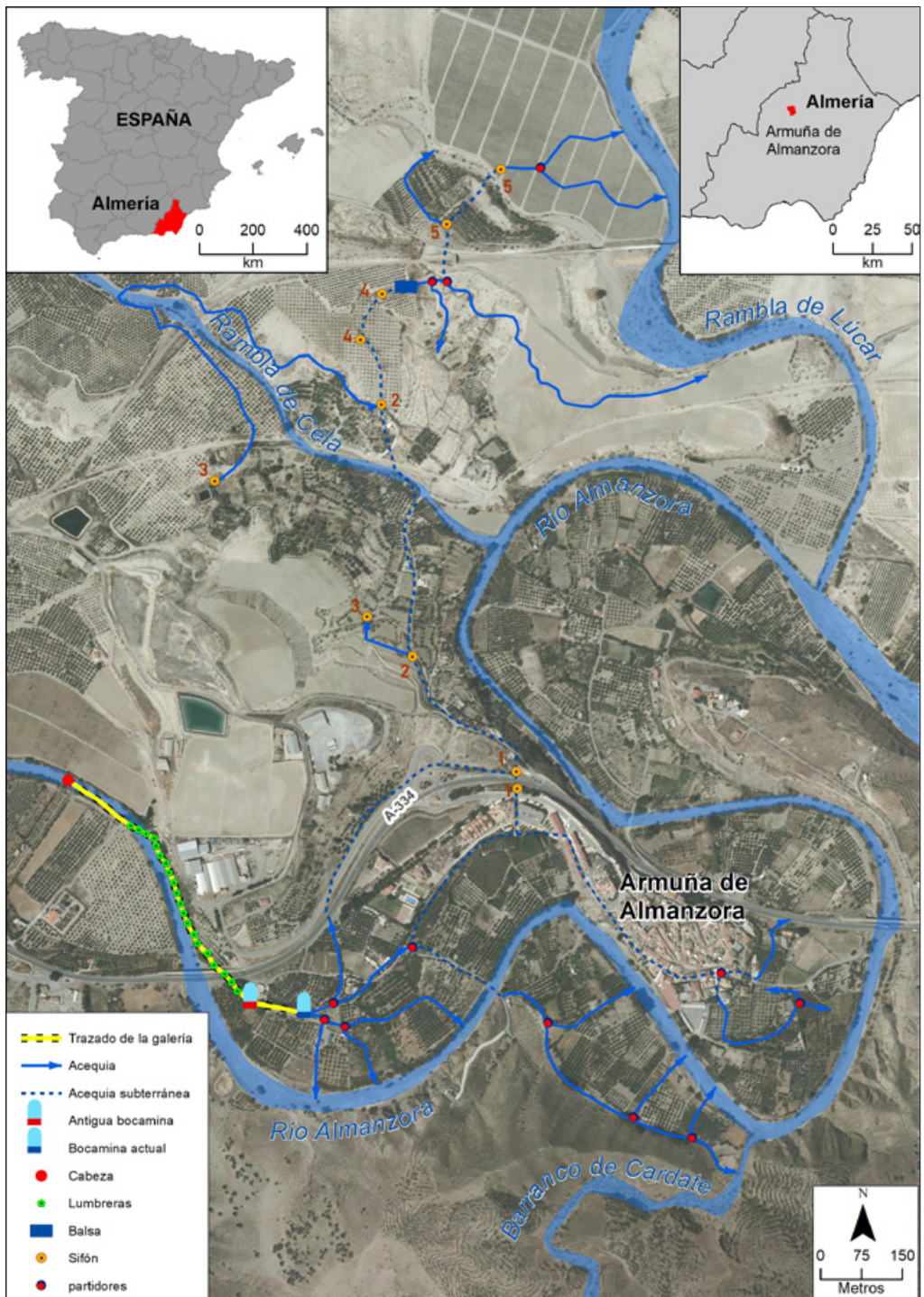


Figura 6.17: Mapa de la Zanja del Gadil, junto con sistema de regadío al que abastece, realizado por el grupo de investigación ESTEPA.

Fuente: Elaboración propia.

6.2. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS/SUBÁLVEAS CON NORIAS “DE SANGRE”

Existen varias hipótesis sobre el lugar donde se inventó la noria de tracción animal, ninguna de las cuales reúne suficientes evidencias como para refutar las otras. Algunos creen en su existencia en el Antiguo Egipto y en Mesopotamia, otros atribuyen su invención a los árabes y otros piensan que su origen es persa, hindú o chino (Caro Baroja, 1983, p. 352). En las investigaciones etnológicas realizadas por Thorkild Schiøler, las norias encontradas en Siria entre Hama y Aleppo eran muy similares a las norias españolas (Schiøler, 1973, p. 22). Esto lleva a Glick (1992, p. 35) a la conclusión de que la noria andalusí no está relacionada con la típica noria bereber del norte de África, y que lo mismo ocurre con otros elementos de agricultura hidráulica. Pero su abundante empleo y presencia en al-Andalus estableció un foco secundario para la difusión de la técnica. Los andalusíes introdujeron la técnica en el N de África a través de la emigración de agricultores árabes y más tarde por la conquista y expulsión de los moriscos.

A la misma conclusión llegó Abdel-Hakim Gafsi en su investigación sobre las norias en Túnez, en la que señala que los moriscos son los responsables de la difusión y el uso intensivo localizado de la noria en Túnez, tanto en el periodo de los hafsiés (1229-1574) como después de su expulsión de España (Gafsi, 1988). Así mismo, las consultas de archivos demuestran la expansión de esta técnica entre los siglos XVIII y XIX en partes de la gobernación de Nabeul, y las ciudades de Bezerte, Testour y Tunis, que son los mismos lugares donde se establecieron los moriscos.

Gil Meseguer, López Fernández y Gómez Espín (2015, p.169), en la misma línea, señalan la serie de mejoras tecnológicas, como la noria de tiro con arcaduces, que los soldados árabes (“yundíes”) de Oriente próximo introducen en la Cora de Tudmir (Murcia, partes de Alicante y Albacete...) a partir de 741.

6.2.1. La extracción de aguas subterráneas y subálveas con sistemas de pozos y norias

Existen dos tipos básicos de norias, las de tracción animal y las fluviales. Basándose en las características constructivas de las norias y en los trabajos de Dias y Galhano (1953) y Caro Baroja (1954), Schiøler (1973, p.11), clasifica las ruedas hidráulicas en estos dos grupos principales:

A- Máquinas con engranaje: se definen como máquinas en las que el poder de tracción de un animal de tiro se transmite por medio de un engranaje en ángulo recto.

B- Máquinas sin engranaje: son ruedas provistas de contenedores de agua, que la toman de una corriente, accionadas por la fuerza del propio flujo (fluvial, acequias...).

Las máquinas del primer grupo pueden subdividirse, además, según el tipo de eje horizontal:

1. Máquinas con un eje corto.
2. Máquinas con un eje largo.
3. Máquinas con un eje elevado.

La noria de sangre, por tanto, se distingue de la fluvial en que se basa en la energía de la tracción animal, no en la energía cinética del agua corriente. Recibe nombres diversos como *sénia*, *cénia*, *ñora* (denominación local en Murcia, -Box Amorós, 1992, p.58) o *dulab* (palabra árabe de origen persa). Es un artefacto hidráulico, no muy complejo, que se emplea para la extracción de agua de un pozo, y a veces de una acequia o de un pozo de aeración (lumbreira) de una *foggara*. Está compuesta por dos ruedas, una vertical, dispuesta de una maroma o cinta donde se fijan varios cangilones o arcaduces, y otra horizontal, engranada en la primera, su función es transmitir la energía producida por uno o dos animales enganchados a ella, dando vueltas sobre un tránsito circular, generalmente sobreelevado, que rodea el pozo.

Señala Glick (1992) que, a pesar de la gran variedad de norias que existían en la España medieval, el principal tipo de norias de tracción animal era el de eje corto. No hemos tenido acceso a ningún documento que explique de forma fehaciente las tipologías de las norias en Túnez. Sin embargo, en la zona donde realizamos nuestro trabajo de campo, las norias que empleaban para la extracción de aguas de los pozos eran de eje corto.

Las norias de eje corto se caracterizan por ser ubicuas. Tal virtud permitía la irrigación de campos individuales con agua procedente de un pozo (Glick, 1992, p.32). La inexistencia de cursos fluviales permanentes, el encajamiento del cauce que dificultaba la construcción de azudes, o la sobrelevación de un terreno respecto a la red de distribución de agua de un sistema de regadío, eran situaciones que se veían resueltas cuando el nivel freático estaba cerca de la superficie, gracias a la utilización de los artefactos de elevación de agua de los pozos.

Decía Jaubert de Passa, “el cultivo por medio de norias es siempre limitado, pero es tan económico, y los resultados son tan satisfactorios, que creo que nunca podré recomendarla como se merece. Por lo común con una noria, y menos de una cahizada de tierra en un clima ardiente y en una tierra arenosa, se mantiene una numerosa familia, y aun se saca de ella una renta considerable” (Jaubert de Passa, 1844, p.31).

Según Berrocal (2007, p.287) un sistema de riego por norias se configura normalmente por dos áreas diferenciadas, aunque próximas físicamente. La primera es la de extracción de agua, compuesta por el pozo en sí, las dos ruedas y los cangilones. En segundo lugar, está la de almacenamiento, que suele ser una balsa sobreelevada respecto a las tierras que la rodean, cuya función es la de dosificar el uso del agua acumulada en ella. Una tercera área podría ser la red de distribución de agua que parte desde la balsa y se extiende por los terrenos regados.

Los cangilones, o arcaduces, son ánforas fabricadas de barro cocido para su uso específico en la noria (fig. 6.25 C). Pueden tener varias formas, pero en general son alargados, con un estrangulamiento en la parte superior para mejor fijación en la maroma. El fondo del arcaduz puede ser apuntado, convexo o plano, pero en todo caso, está provisto de un pequeño orificio. El papel de este agujero es, según Caro Baroja (1983), en primer lugar, evitar que se rompan los arcaduces debido a la presión del aire en su interior cuando chocan contra la superficie del agua para llenarse. Otra posible razón es que, cuando cesa el movimiento de la noria, el agujero permite el vaciado de los recipientes, lo cual prolonga la duración de la maroma.

6.2.2. Las norias en Túnez: Testour

A principios del siglo XVII llegó a Túnez, como al resto de los países del norte de África una gran oleada de moriscos expulsados de España. Allí encontraron a muchos andalusíes que ya habían emigrado cuando empezó la reconquista, pues había andalusíes en Túnez, por lo menos, desde el siglo XIII. Se estima que ochenta mil de ellos llegaron a las tierras tunecinas. Una pequeña parte de los recién llegados, los más adinerados, se afincaron en la *medina* en la capital de Túnez (Bahri, 2009, p.269), y el resto se estableció en varias zonas del norte del país. Entre ellas se encuentra el valle del Medjerda (De Epalza, 1992, p.166). Esta nueva masa poblacional aumentó la población del país entre un 10 y un 15 por ciento (Bahri, 2009, p.268).

En Medjerda fundaron (de sur a norte), Testour, Slougua, Medjez el Bab, Grish el Quad -habitado mayoritariamente por los moriscos catalanes-, Tebourba, Jdaida y Kalaat al Andalous (Rahmani, 2015, p.123). Los moriscos introdujeron diversos elementos culturales (vocabulario, arquitectura, gastronomía, vestimenta, tradiciones...) aparte de nuevas técnicas productivas en la agricultura. Entre estas, son destacables la instalación de un sistema original de irrigación, las acequias, plantaciones lineales y más ordenadas, poda de los árboles e injertos, particularmente en el valle de la Medjerda y en Cap Bon... Por otro lado, se introdujo un sistema de irrigación específico para transportar el agua de las pendientes vecinas hasta los pequeños aguaduchos que

desembocaban en las plantaciones. En Soliman cavaron pozos para la irrigación de los olivares alejados de los ríos, lo que permitía excelentes cosechas (Bahri, 2009, p.271). Una de las obras hidráulicas más importantes de la época en Túnez es El Batán (1616), que dispone de un dique con 114m de longitud y 20 arcos. Está situado en al-Battan, pedanía de la ciudad morisca de Tebourba. Se empleaba tanto para el suministro de energía al batán, como para el riego de las tierras de alrededor.

La técnica de las norias no estuvo demasiado extendida en Túnez. La máxima concentración se produce en Testour, aunque pueden encontrarse de forma aislada en otras localizaciones (pozo de Barouta, en Kairouan -Meyer, 1958, p.183-, en Sousse, en la *medina* de Túnez...). Suelen ser norias no vinculadas a usos agrícolas; muchas de ellas suministran agua a fuentes y baños públicos (*hammamet*).

Testour es una pequeña ciudad que se encuentra en el norte de Túnez, en la confluencia de Oued Siliana con el valle del río Medjerda. Es el centro administrativo de una delegación homónima perteneciente a la gobernación de Beja. Fue fundada a principios del siglo XVII sobre el emplazamiento de una ciudad romana llamada Tichilla. La ciudad morisca está formada por tres barrios: el barrio de los Andalusíes, el barrio de los Tagarinos y el de la Hara (Saadaoui, 2000, p.131).

6.2.2.1. El medio físico

El sector analizado se ubica en las cercanías de Testour, al N de la ciudad, a una margen y otra del río Mdjerda. Este río es el principal curso fluvial permanente de Túnez y uno de los más importantes en el Magreb, tanto por la longitud de su curso fluvial (460 km, de los cuales 350 km en Túnez) como por su caudal. Nace en el Atlas Argelino, en Souk Ahras, y fluye hacia el E hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de Túnez, cerca de la ciudad de Kalaat al Andalous en la gobernación de Ariana. Drena una cuenca hidrográfica de unos 23.700 km² de los cuales 16.100 km² en Túnez (Abidi, Hajji, y Habaieb, 2015, p.1278).

Las norias de Testour se localizan en dos grandes meandros del río Mdjerda, el propio de la ciudad de Testour y el anterior. Hay unas pocas norias más fuera de ellos, en especial en la margen izquierda del río, aguas abajo (fig. 6.18) o en la confluencia entre el Siliana y el Mdjerda. Esta localización concreta es el fruto de tres factores: indudablemente, del peso cultural de la ciudad morisca de Testour, pero también de un contexto ambiental muy propicio, las terrazas fluviales del Mdjerda y su régimen hidrológico.

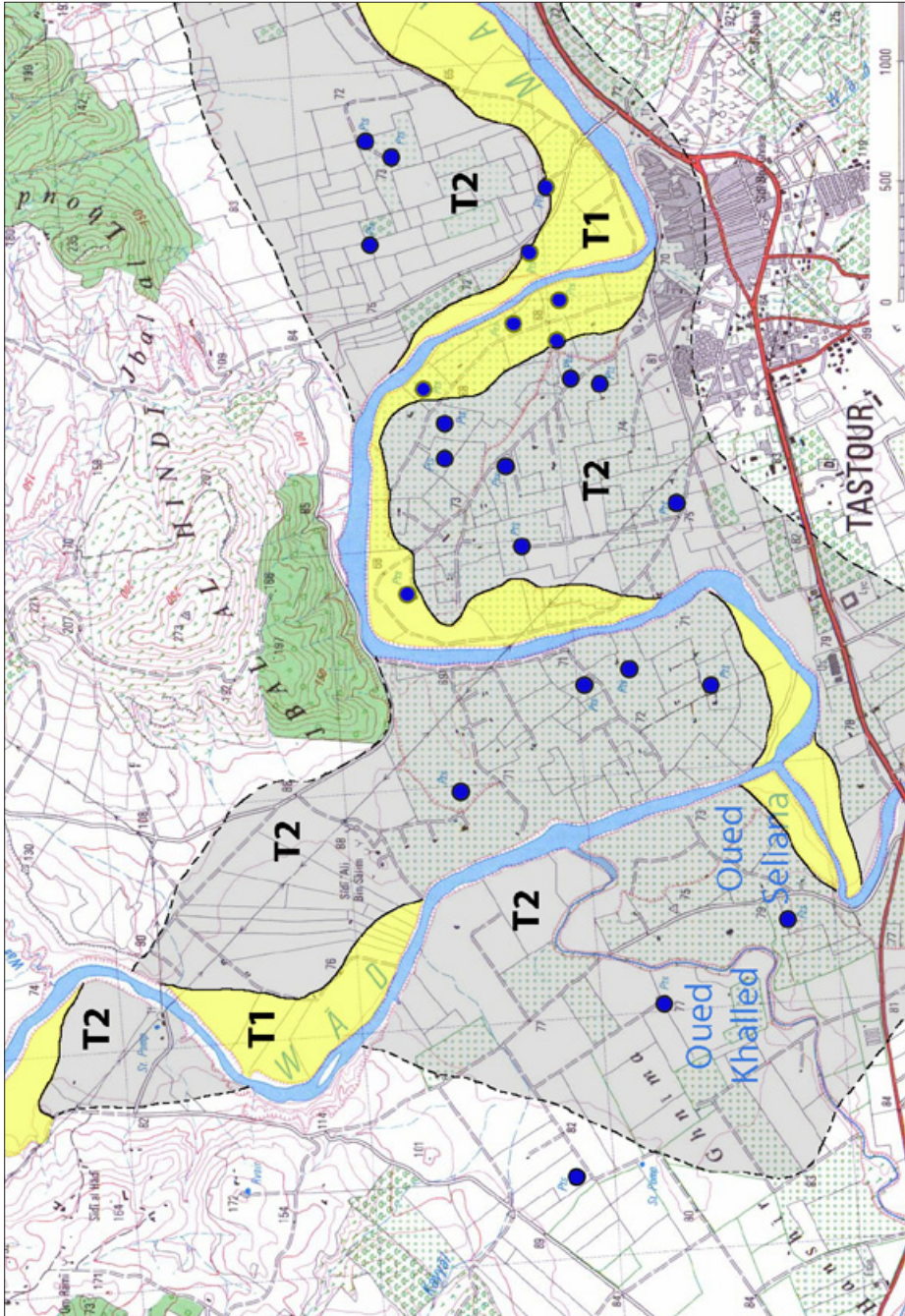


Figura 6.18: Distribución espacial de norias en los meandros y terrazas fluviales del Mjerdja de los alrededores de Testour. Sólo están representadas las que aparecen señaladas (*puits*) en el mapa topográfico 1:25.000, aproximadamente un tercio de las existentes.

Fuente: Elaboración propia.

Geología y geomorfología

En el área de Testour, el valle del Mdjerda se sitúa en cuencas neógenas con relleno cuaternario, en las que afloran estructuras del Paleógeno, Cretácico y Triásico con orientación SW- NE (fig. 6.19). Los materiales del Triásico, según Perthuisot (1981) y El Ouardi (2002) son estructuras diapíricas que comenzaron a formarse a finales del Cretácico inferior y continuaron durante todo el Cretácico superior y el Terciario inferior. Forman la denominada “área de diapiros” de la cartografía estructural de Hezzi (2014) (apartado 1.3.2.B y fig. 1.12).

Los materiales neógenos en la zona de estudio pertenecen al Plioceno continental, formado por conglomerados, areniscas y arcillas, y al Mioceno superior en sus cuatro formaciones (Oued Bel Khedim, Kechabta, Oued el Maleh y Hakima), todas ellas de origen continental.

El Paleógeno está representado básicamente por el Oligoceno, en la parte norte del sector estudiado, sobre todo en Djebel el Heni. Así mismo afloran, de forma puntual, calizas con *nummulites* del Eoceno inferior (Ypresiense-Luteciense).

El Cretácico se localiza en varios sectores reducidos, desde el Aptiense hasta el Campaniense. El sector más significativo del área estudiada se encuentra en Djebel Tallit Mabrouka, en la margen izquierda del Oued el Medjerda. Tanto estos materiales como los del Paleógeno forman parte de estructuras con núcleo triásico.

El Triásico aflora en gran parte de la región, gracias a procesos de diapirismo. Está constituido por arcillas, areniscas, dolomías y yesos, en composición semejante al Triás de facies germánica del Levante español. Esta composición indica que no son solo materiales plásticos diapíricos, en sentido estricto, sino que se trata de umbrales tectónicos con alineación SW-NE.

La cuenca neógena regional está partida por estas estructuras SW-NE. Localmente, el valle del Mdjerda está entre un eje muy claro y continuo al N (que atraviesa tras la presa de Sidi Salem), y pequeños afloramientos al S de Triásico con Cretácico adosado. Esto pudiera interpretarse, incluso, como una pequeña fosa tectónica que siguen el Oued Khalled y el propio Oued Mdjerda, tras su confluencia. De hecho, en el tramo del Mdjerda no llegan a aflorar los materiales miocenos, solo el relleno pliocuaternario (fig. 6.19). Este tipo de estructuras (umbral tectónico y diapirismo) no son incompatibles, tal como muestran Simón y Pérez Cueva (1980, p.144) en sectores del Levante español, como ocurre al N de la Sierra de Espadán.

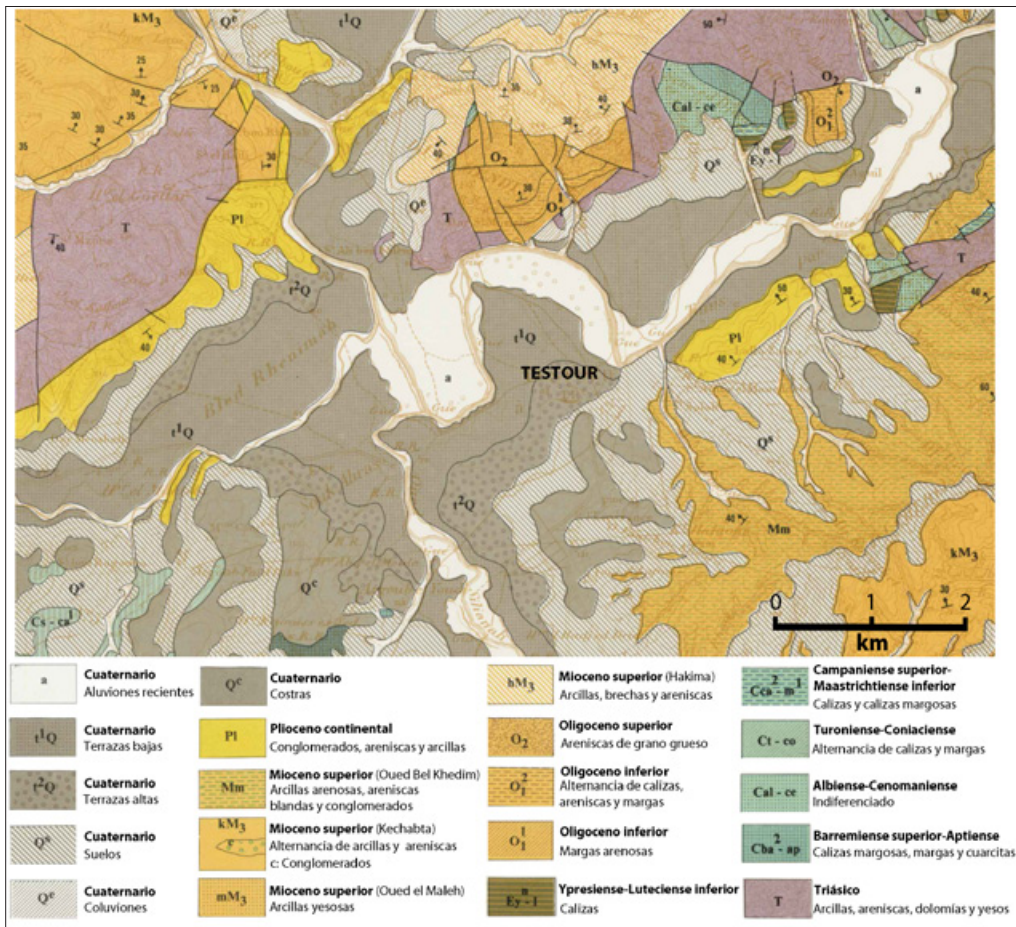


Figura 6.19: Contexto geológico de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia, a partir de INRS (1985).

Todas las norias de este sector se ubican, básicamente, en los aluviones cuaternarios recientes y en las terrazas bajas. Según el estudio realizado por Bannour y Bonvalot (1988, p.9) sobre las terrazas fluviales del Mdjerda, y que se basa en el trabajo de Beaudet, Maurer y Ruellan (1967), se pueden distinguir hasta cinco niveles de terrazas:

- El primer nivel, la terraza de inundación, está a unos cinco metros del lecho del río.
- La segunda terraza está de 10 a 15m por encima del primer nivel. Pertenece al Holoceno.
- La tercera terraza (Pleistoceno reciente) se encuentra a aproximadamente 15m del lecho del fluvial.
- La cuarta terraza (Pleistoceno medio) se extiende de forma regular a unos 25 m por encima del Mdjerda (alrededor de diez metros del nivel 3).
- La quinta terraza (Pleistoceno antiguo) es la terraza superior. Está sellada por una gruesa costra compacta calcáreo-yesosa de más de un metro de potencia. Llega a alcanzar hasta 60 m de altura por encima del lecho fluvial.

En el trabajo de campo efectuado en los alrededores de Testour se han llegado a localizar claramente cuatro niveles, que se corresponden aproximadamente con los de Bannour y Bonvallot: el llano de inundación (T0, primer nivel), la terraza holocena (T1, segundo nivel), la del Pleistoceno superior (T2, tercer nivel), y una terraza alta situada al menos a 30m de altura (T3?), que por su altura y encostramiento parcial parece corresponderse con el cuarto nivel descrito en el modelo morfogenético regional del Mdjerda (fig. 6.20 y fig. 6.21).

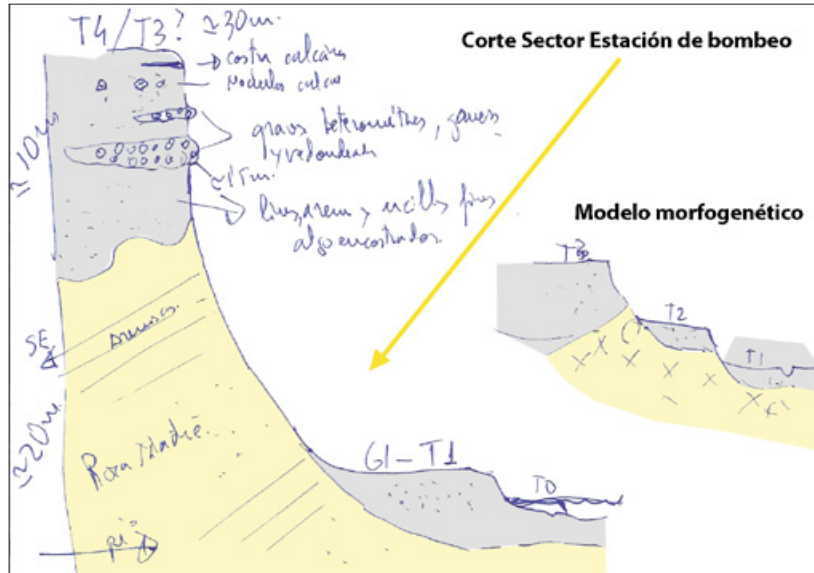


Figura 6.20: Esquema morfogenético de las terrazas fluviales del Mdjerda en la zona de Testour y ejemplo de corte geológico (nota de campo) en los alrededores de la estación de bombeo (margen derecha, unos 600 m aguas abajo).

Fuente: Elaboración propia.

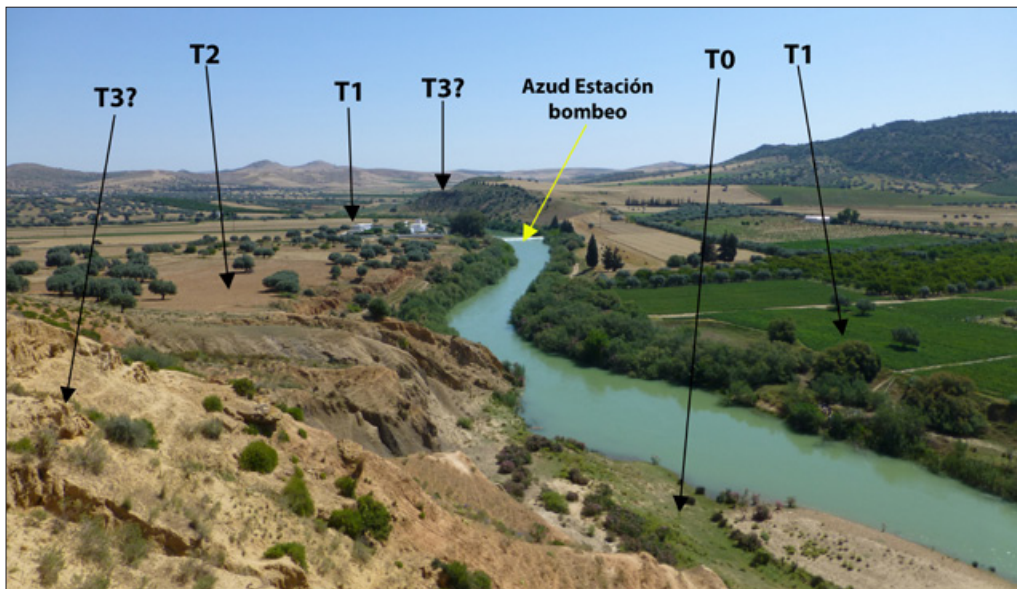


Figura 6.21: Terrazas fluviales del Mdjerda en los alrededores de la estación de bombeo (unos 2 kms aguas abajo de la presa de Sidi Salem): T0 Zona de inundación y barras fluviales; T1 Terraza baja (Holoceno); T2 Terraza del Pleistoceno superior?; T3?) Terraza del Pleistoceno medio?.

Fuente: Autor.

Clima e hidrología

El clima de Testour pertenece al sector de clima mediterráneo Csa según la clasificación de Köppen (ver fig. 1.13). La temperatura media anual es de 18'2°C y las precipitaciones medias anuales son de 450mm. Se caracteriza este tipo de clima por un verano seco (con el 6'2% de las precipitaciones totales anuales) y cálido. La temperatura del mes más cálido corresponde a julio y agosto, con medias mensuales de 27'2°C en ambos casos. La temperatura media del mes más frío es de 11°C y corresponde a diciembre (ver fig. 6.22).

El régimen hidrológico natural del Mdjerdá está marcado por el régimen pluviométrico mediterráneo de la zona. Presentaba un acusado estiaje estival y un período de aguas altas, en el invierno, primavera y el otoño, este último con riadas provocadas por lluvias de carácter torrencial (fig. 6.23).

Testour está situada entre los aforos de Bou Salem (16.482 km² de cuenca) y el de Medjez el Bab (21.185 km² de cuenca). Ambas estaciones de aforos muestran un régimen natural del río con estiaje estival y máximos invernales y primaverales. El caudal medio antes de la construcción del gran embalse de Sidi Salem era de 23'32 m³/seg en Bou Salem y de 30'23 m³/seg en Medjez el Bab (Rodier *et al.*, 1981, p.292 y p. 301). Esto da un caudal específico de 1'83 l/km² en Bou Salem y de 1'42 en Medjez el Bab, cuando ya ha recibido a grandes afluentes del S, como el Oued Siliana y el Oued Khalled, que vienen de sectores más áridos y aportan un caudal más escaso.

El régimen de riadas del río está asociado a los grandes temporales de lluvias primaverales y otoñales, y se deja ver en el máximo relativo de octubre. En el aforo de Bou Salem la máxima crecida medida alcanzó 3.180 m³/seg, y la máxima estimada sin la regulación del embalse de Mellegue o Nebeur (1949-1955), de unos 4.000 m³/seg (Rodier *et al.*, 1981, p.238).

El suministro anual de agua del Mdjerdá se estima en 1.000 hm³. Los afluentes de la margen izquierda y derecha aportan 390 y 405 hm³ respectivamente (Gharbi, 2016, p.81).

La construcción y puesta en marcha, unos seis km aguas arriba de Testour, del embalse de Sidi Salem en el año 1981 (el mayor embalse de Túnez, con una capacidad útil de 674'48 hm³) ha causado una reducción significativa en el flujo en el valle aguas abajo (Zahar, Ghorbel y Albergek, 2008, p.318) y un cambio del régimen estacional.

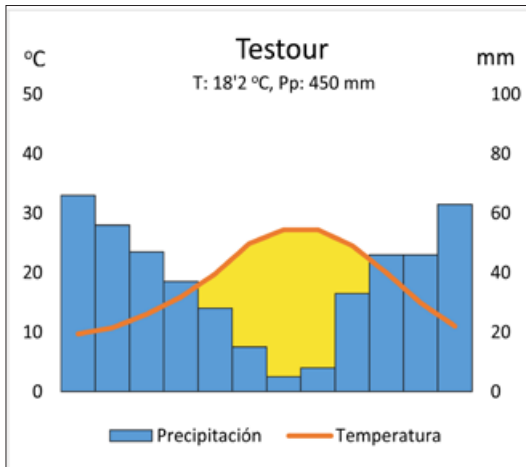


Figura 6.22: Diagrama ombrotérmico de Gausse de la localidad de Testour.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Climate-Data.org.

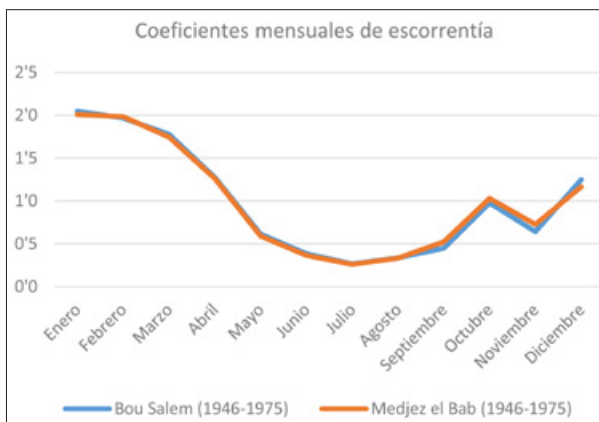


Figura 6.23: Coeficientes mensuales de escorrentía del Mdjerda en los afloramientos de Bou Salem y de Medjez el Bab para el periodo 1946-1975, antes de la construcción del embalse de Sidi Salem.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Rodier *et al.* (1981).

6.2.2.2. Características de los sistemas de norias en Testour

Localización

Los sistemas de noria que hemos podido documentar se distribuyen, principalmente, en el meandro del Mdjerda al N de Testour, y en otros dos, anterior y posterior, aunque con mucha menos densidad. El número total de las norias identificadas es de 54, a partir del parcelario del catastro del “Village de Testour”, escala 1:5.000, elaborado por el Servicio Topográfico del Protectorado Francés del Gobierno Tunecino, de 1936 (ver fig. 6.24).

De éstas, un primer grupo de 16 norias se ubican en diferentes puntos en la primera terraza fluvial “T1”, en ambas márgenes del río. Un segundo grupo, formado por 31 norias (de las cuales 25 en la margen derecha y cinco en la izquierda), se distribuye en las partes bajas de la segunda terraza “T2”. Las siete norias restantes ocupan el sector alto de la segunda terraza, en las cercanías de la población.

La principal justificación que hemos podido encontrar al uso masivo de las norias en este sector tan cercano al curso fluvial, es la del encajamiento del río. En el tramo que discurre en la zona estudiada está a -3 m respecto de la terraza más baja y a -10 m respecto de las parcelas que se regaban con las norias más altas. La baja pendiente

general del valle del Mdjerda de este tramo final hace que un hipotético azud capaz de llevar el agua hasta aquí tuviese que poseer un largo recorrido para conseguir elevar el agua hasta esta altura. Asimismo, tendría que tener cierta magnitud para aguantar las fuertes riadas que caracterizaban al Mdjerda antes de la construcción del embalse de Sidi Salem, en el año 1981. Así mismo, la acequia que partiría de dicho azud tendría que contar con varios acueductos para salvar los afluentes de río (Khalled y Siliana) y llegar a estos campos.

Características y estado actual

Una de las características del sistema de norias de Testour es ser individual (“familiar”), de manera que cada noria alimenta a una única parcela. Sin embargo, algunas parcelas cuentan con dos norias, una en la parte más elevada y otra en el centro. Por lo general, la noria está en la parte central de la parcela y riega la porción de tierra que se encuentra a un nivel inferior, y el resto de la tierra se dedica al cultivo de secano, que suele ser olivo.

Según fuentes orales durante el trabajo de campo, las norias tradicionales eran de madera, con arcaduces de barro cocido. Gran parte de ellas fueron sustituidas por otras de hierro fundido, con mayor rendimiento, importadas de Francia.

Las perforaciones son circulares, de unos cinco metros de diámetro, y su profundidad oscila entre 15 y 20 m. Las paredes interiores están revestidas con bloques de piedra unidos con argamasa. La mayoría de estos pozos están cubiertos con dos arcos de medio punto paralelos, que dejan entre ambos un hueco de forma rectangular, donde descansaba la estructura de la noria.

Las balsas de acopio, que acumulaban el caudal extraído, eran un elemento principal en casi todos los sistemas. A partir de ellas empezaban los sistemas de acequias que distribuían el agua a los cultivos. Dichas balsas poseen una fábrica cuadrada o rectangular de variadas dimensiones, según la superficie a regar, con paredes sobreelevadas. Recibían el agua mediante un canalillo de unos diez metros de longitud, que partía de la noria, y disponía en su parte central de un hueco que cumplía el papel de un decantador. A menudo, al lado de la balsa, se disponía una pila de una única pieza de piedra, que cumplía el papel de abrevadero.

Podemos hablar de dos fases de abandono de los sistemas de noria en Testour. La primera, parcial, empieza en los años 60, con la sustitución de las norias por los motores de gasoil, de manera que el abandono no afectaba ni a la perforación, ni a los demás elementos del sistema (balsa, acequias...). Y la segunda fase es la del abandono total de muchos sistemas, motivado por la construcción del embalse de Sidi Salem y la disponibilidad de agua para el riego con canalizaciones modernas que cubren buena parte de la región.

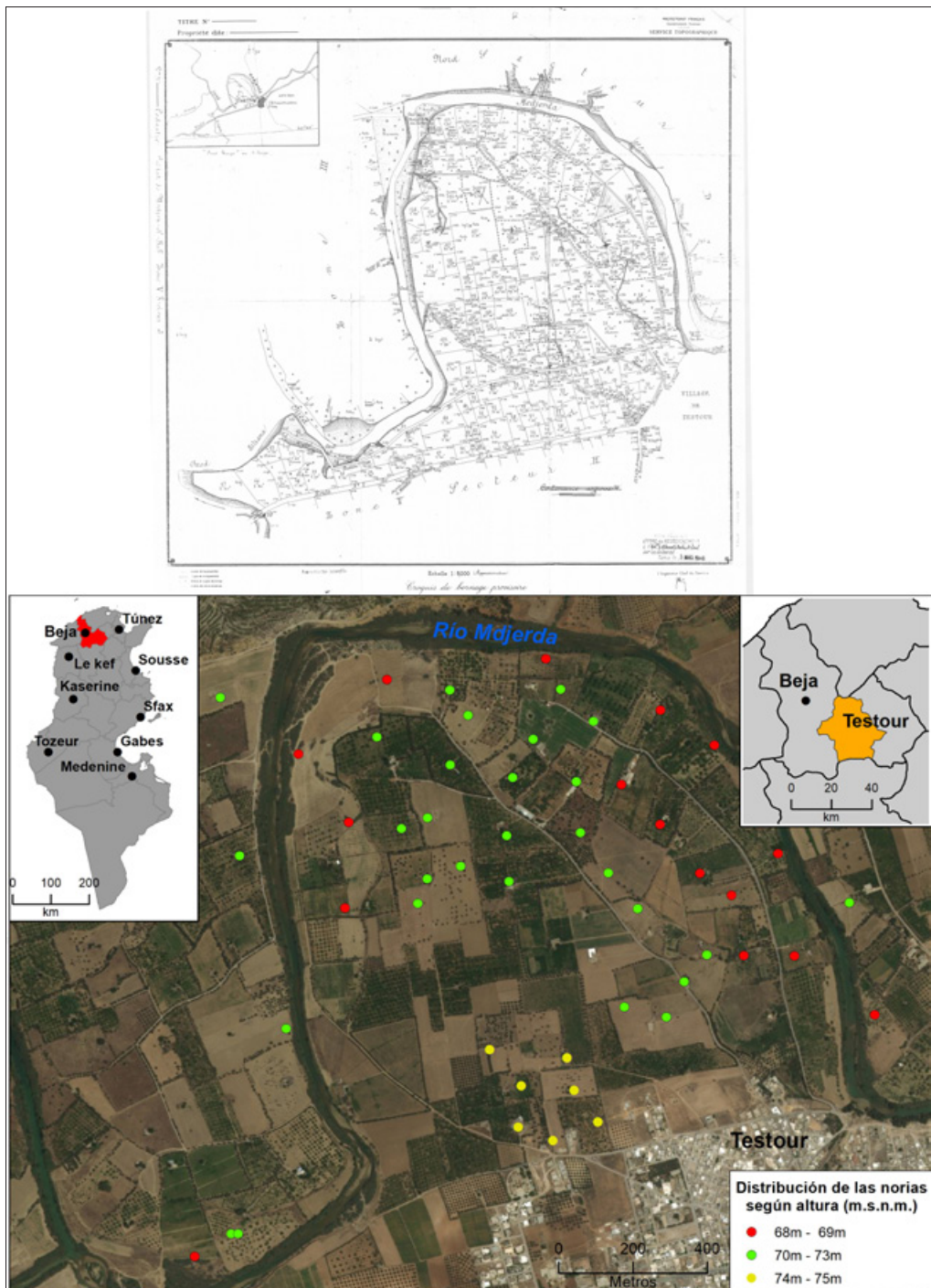


Figura 6.24: Distribución espacial según altura de las norias identificadas en Testour a partir del parcelario del catastro, realizado por el Servicio Topográfico del Protectorado Francés del Gobierno Tunecino, de 1936.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.25: Elementos de un sistema de noria en Testour: A- El interior de una perforación donde había una noria; obsérvese la forma circular del pozo, el revestimiento de las paredes y los dos arcos paralelos que formaban la base de la noria. B- Balsa de acopio, con su decantador, por donde pasa la acequia que lleva el agua desde la noria. C- Arcaduz de barro cocido encontrado en el fondo de un pozo abandonado. D- Pila-abrevadero.

Fuente: Autor.

6.2.3. Las norias de los meandros del Xúquer en la Ribera Alta

Las referencias al uso de la técnica de norias en el Levante español son muy numerosas. Su habitual y numerosa presencia en el paisaje de “huerta mediterránea” (en el sentido de Lebeau, 1983, p.77; o de Mata y Fernández, 2010) hace que muchos lugares tengan estudios y citas específicas: Montaner (2004) en la Campo de Cartagena; López Gómez y Cifuentes (2001) en el Cabo de Gata; Muñoz Muñoz (2000) en Campos de Níjar; Diz, García y Gea (1986) en el Bajo Segura; Giralt i Raventós (2004, p. 154), en Cataluña (Tortosa, Mataró...), etc. Estos estudios, de índole más o menos geográfica, se complementan con otros de tipo histórico o arqueológico, como el de Caro Baroja (1954), ya citado.

En la Comunidad Valenciana y Murcia ha sido señalado su uso en múltiples lugares, incluyendo ambientes geomórficos muy diversos: piedemontes aluviales, como el llano de Vinaroz- Benicarló, donde Jaubert de Passa (1844, p.95) las cifró entre 500 y 600, o en Oliva (Bazzana et al., 1987), pequeños valles intramontanos, como en Xert (Segura y Beltrán, 2017, p.37) o en Benassal (Poveda, 2004, p.47), zonas de marismas o marjales, como las de Sagunto (Vera, 1998, p.183) o de Peníscola (Vera, 1998, p.187), llanuras aluviales de grandes ríos, como el Xúquer o el Segura... Se trata casi en su totalidad de

norias “de sangre”, aunque también de casos especiales de norias fluviales, como la de Casas del Río, en el Cabriel (Hermosilla, 2005, p.136) o las de La Ñora y Alcantarilla, en el Segura (Torres Balbás, 1940, p. 192; Micol, 2015, p.113, etc).

Desde una perspectiva histórica, Calatayud (1990, p.204) considera que la utilización de norias de tracción animal ha tenido una larga tradición en tierras valencianas, como, en general, en todas las áreas de regadío mediterráneo.

Las norias del Xúquer en la Ribera Alta son un ejemplo de norias de sangre en la llanura aluvial de un río meandrizante. Ya fueron citadas por Cavanilles (1795, T.I, p. 207) quien observa que: *“...Los campos areniscos hácia el mediodía que hubieran quedado estériles en otras manos, se han aprovechado de pocos años á esta parte con grandes ventajas. Sabian los de Carcaixént que los naranjos prosperan en terrenos areniscos si se benefician con estiercol y riegos: convidábales la naturaleza de los campos; pero carecian enteramente de agua, que ocultaba la tierra en sus entrañas: empezaron á taladrarla con pozos, hicieron norias, suavizaron con estiercol las áridas arenas, y convirtieron los eriales en bosques de naranjos chinos y de granados. Aún continúan aquellos industriosos labradores sus conquistas aumentándose la riqueza, la abundancia y la hermosura...”*.

También aparecen en planos antiguos, como el de Atanasio León de 1773, citado por Giménez Font (2008, p.270) (ver fig. 6.31). Calatayud atribuye la mayor expansión de las norias, en algunas áreas valencianas, a la intensificación agraria de este periodo y a la difusión de cultivos comerciales en el siglo XVIII y parte del XIX (Calatayud, 1990, p.204).

Finalmente, las norias de la Ribera Alta también han sido estudiadas desde el punto de vista patrimonial, su estado actual y su papel como elemento del regadío tradicional de la Ribera (Hermosilla, 2006), y desde la perspectiva artística y de su histórica transformación (Besó, 2010).

La elección de este lugar ha estado condicionada por la del sector analizado en Túnez (allí obligado, al ser casi el único caso con este tipo de técnica de *water harvesting*). Se ha elegido un ejemplo de norias en ambiente fluvial, en la Ribera Alta, en concreto, un sector entre Carcaixent y Alzira. Los motivos están todos ellos orientados a facilitar la comparación con Testour: en primer lugar, por el ambiente geomórfico particular; en segundo lugar, por el contexto medio ambiental del río; y también por disponer de un documento cartográfico histórico “equivalente” al utilizado en Testour.

Se ha elegido un marco físico y un tipo de técnica lo más semejante posible, a efectos de facilitar el análisis comparado, el objetivo principal de nuestra tesis doctoral: Norias de sangre, en ambientes sedimentarios fluviales cuaternarios, generados por ríos de tamaño y caudal comparables, con cuencas en montañas alpinas, trazados meandrizantes, riadas de magnitud considerable, clima semejante...

Se ha podido contar, además, con documentos históricos comparables, 1936 en el caso de Testour y 1904-05 en Carcaixent y Alzira. Esto último no ha sido algo buscado como criterio *sine qua non*, sino fruto de la fortuna, gracias a la actual disponibilidad de cartografía histórica en el IGN y al trabajo de campo en Testour.

6.2.3.1. El medio físico

El sector analizado se ubica en las cercanías de Carcaixent y Alzira, en la comarca de la Ribera Alta (Valencia), en la margen derecha del Riu Xúquer. Este río es el principal curso fluvial de la Comunidad Valenciana y el segundo más importantes del Levante español, tras el Ebro, tanto por la longitud de su curso fluvial (497,5 km, como por su caudal (unos 49,22 m³/seg en Masía del Mompó, para el periodo comprendido entre octubre de 1911 hasta octubre de 1984). Nace en los Montes Universales y fluye primero hacia el SW, hasta Cuenca, y luego hacia el E, hasta llegar a su desembocadura en el Golfo de Valencia, en Cullera. Drena una cuenca hidrográfica de unos 21.578,5km² (Matarredona, Pérez Cueva y Sanchis, 1988, p.105 y p.123). Los parámetros de tamaño de cuenca y caudal del río son muy semejantes a los del Mdjerda.

Las norias de Carcaixent y Alzira se localizan en las cercanías del río, algo separadas de él en Carcaixent y más cerca en el caso de Alzira. Aunque en toda la Ribera el Xúquer es un río meandrizante, estas norias no pueden considerarse estrictamente de meandro fluvial. No obstante, algunas de ellas lo están. Hay también unas pocas norias alejadas del valle principal, en especial en el tramo final de los barrancos de la Casella y de l'Estret.

Geología y geomorfología

La Ribera Alta es el primer tramo del Xúquer cuando sale de las montañas y empieza a formar su llanura aluvial litoral. Discurre entre Sumacàrcer y Alzira. En conjunto, se trata de un valle aluvial bastante cerrado, rodeado por montañas calcáreas, hasta que se abre en la Ribera Baja. Esto sucede tras la confluencia con su último gran afluente, el Magro, entre Alzira y Algemesí.

Desde su confluencia con el Cabriel en Cofrentes, el Xúquer alterna direcciones estructurales béticas (SW-NE) e ibéricas (SE-NW), dado que estamos ante un dominio sedimentario ibérico pero en un sector estructural de interferencia entre estructuras béticas: el esfuerzo tectónico bético no solo disloca y cuarteo las estructuras ibéricas previas, sino que también permite las extrusiones de Trías plástico. Fallas, fosas tectónicas y extrusiones tienen un claro patrón ortogonal en toda esta zona de transición, tanto en la plataforma del Caroché como en la propia Ribera y en la Canal de Navarrés (fig. 6.26).

Desde Cofrentes, en la fosa tectónica de Ayora, el río sigue primero la extrusión de Cortes de Pallás. Posteriormente discurre por estrechas fosas tectónicas de dirección ibérica, sobre todo desde Tous a Sumacarcer. Ya en la Ribera, sigue la

dirección estructural bética de los umbrales triásicos que hay entre La Ribera y la Costera (Xàtiva). Desde un punto de vista geológico, litológico y estructural, por tanto, las semejanzas con el sector de Testour son muy elevadas.

A partir de Sumacàrcer, el río comienza a desarrollar su llanura aluvial, primero en el valle y después en la llanura costera. En este tramo recibe a todos los afluentes importantes de su último tramo: en primer lugar, el Riu Sellent, luego el Riu d'Albaida, y finalmente el Riu Magre (fig. 6.27). La geometría de los aportes de estos afluentes ha condicionado la morfología y la dinámica de la llanura aluvial del Xúquer en la Ribera Alta. Destacamos tres de estos rasgos:

- En primer lugar, está el hecho del confinamiento del río en un valle cerrado, y taponado en su salida por el abanico aluvial del Magro. Esto condiciona un perfil cóncavo de la llanura aluvial, enmarcada entre las montañas calcáreas y sus piedemontes. En los episodios de inundaciones, el agua desbordada tiene que regresar necesariamente al río (La Roca y Carmona 1983, p.124). Una vez superado el obstáculo hidrogeomorfológico de su confluencia con el río Magro, el agua desbordada desagua en las marismas (Albufera y marjal de Tavernes), no retorna al cauce principal y genera una llanura de perfil convexo (Mateu, 1980, p.126).
- En segundo lugar, los sucesivos taponamientos aluviales (Sellent, Albaida, Magro), generan aguas arriba espacios de sedimentación de aguas con baja energía, con sedimentación limosa y arcillosa de decantación (fig. 6.27). Son los mejores espacios para el regadío fluvial, al ser hondonadas limosas.

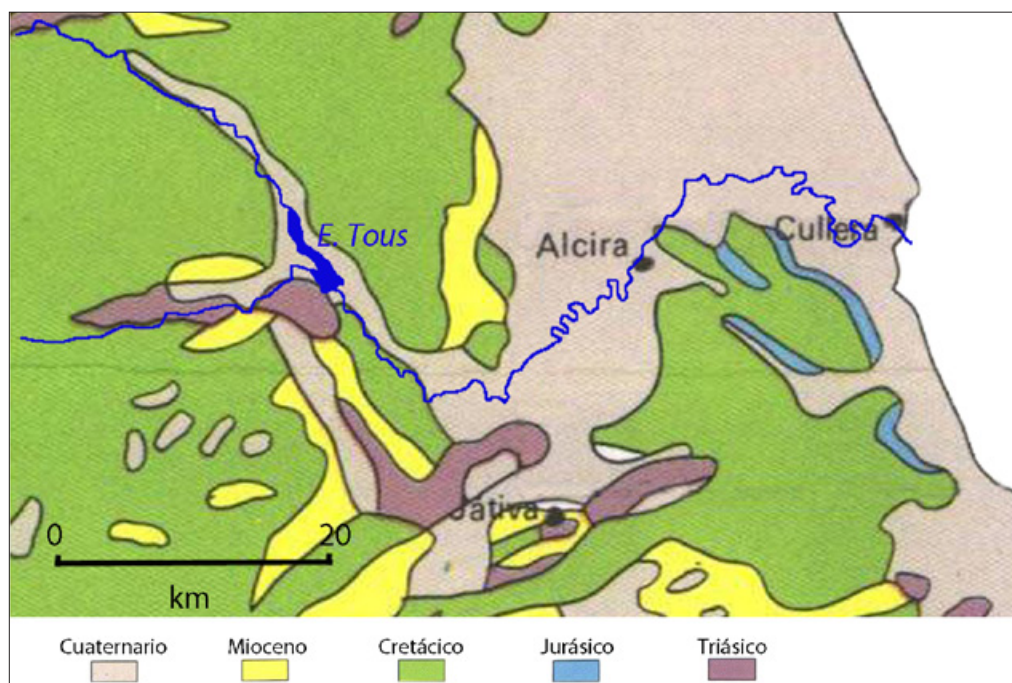


Figura 6.26: Trazado estructural del Xúquer en su tramo bajo, desde el valle de Ayora hasta su desembocadura.

Fuente: IGME (1976).

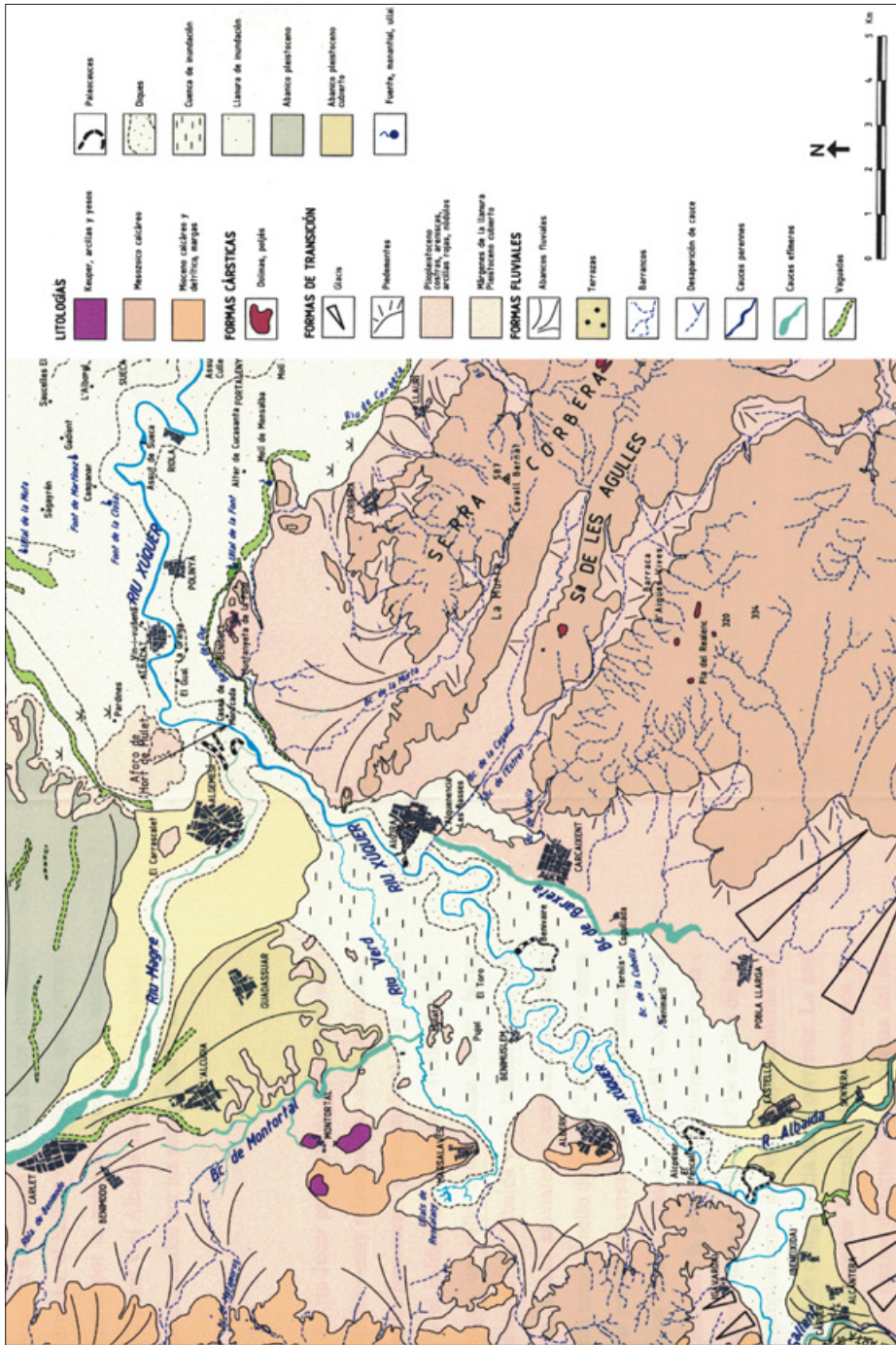


Figura 6.27: Recorte del mapa geomorfológico de la Ribera Alta. Fuente: Ruíz Pérez (2001, p.36).

- Finalmente, la sedimentación en medios con más energía produce motas naturales que enmarcan el río y protegen la llanura de riadas de segundo orden. En la Ribera Alta, estas motas son un obstáculo para que el agua desbordada retorne al río, o para que la escorrentía de las montañas pueda conectar directamente con él. Se generan así cauces *yazoo*, que discurren en paralelo al cauce principal, sin confluir con él hasta que un obstáculo interpuesto les obligue. Es el caso del Riu Verd, al N del Xúquer, y del Bc. de Barxeta, al S., que sólo confluyen con el Xúquer cuando el tapón del abanico aluvial del Magro les obliga.

En el sector estudiado tenemos todos estos tipos de ambientes sedimentarios: las inmediaciones del río meandrizante son zonas más elevadas y con una sedimentación de detríticos más gruesos. El Bc de Barxeta es una vaguada de río *yazoo*. Las inmediaciones al S y SW de Alzira son una cubeta deprimida de decantación. Finalmente, el piedemonte aluvial adosado a las montañas del S, está formado por conos de deyección (como el del Bc. de la Casella, el de l'Estret, o los de Vilella, el Bc. Ample y el Barranquet, de N a S), y por coluviones que van perdiendo pendiente y altura, y cuyos sedimentos se interdigitan con los fluviales.

Clima e hidrología

El clima de la Ribera Alta es el característico clima mediterráneo de tipo “provenzal”, propio sobre todo del litoral N de la cubeta del Mediterráneo occidental. Es un Csa, según la clasificación de Köppen, con máximos otoñales (octubre y noviembre), en lugar de invernales. Todavía no tiene el rasgo “subtropical” de mínimos estivales intensos y dilatados (solo tres meses cumplen el criterio de aridez de Gaussen), pero la sequedad estival es suficientemente intensa para marcar diferencias entre el seco y el regadío, como ocurre en todo el mundo mediterráneo.

La temperatura media anual es de 17'2°C y las precipitaciones medias anuales son de 663 mm (ver fig. 6.28). Por tanto, es un clima más húmedo que el de Testour, pero no lo suficiente como para poder prescindir de sistemas de aprovisionamiento hídrico, como las norias o los regadíos fluviales, para los riegos estivales. Esto se acentúa en el interior de la Ribera Alta por un rasgo topoclimático propio: está relativamente protegida de las brisas costeras y tiene unas temperaturas medias de los meses de verano entre 1°C y 2°C más elevadas que las del litoral.

El régimen hidrológico natural del Xúquer está marcado en general por el régimen pluviométrico mediterráneo de la zona, pero presenta tres influencias, más o menos visibles: manifiesta una influencia pluvionival en el régimen de cabecera, que se observa en coeficientes mensuales máximos en el mes de marzo; en segundo lugar, el régimen está condicionado, sobre todo, por el ritmo pluviométrico de la meseta, con máximos primaverales y mínimos estivales; finalmente, presenta un repunte del caudal en octubre (rasgo que no se observa en el aforo de Los Frailes), ocasionado por el régimen de lluvias de la cuenca baja, fuertemente torrenciales y con riadas de gran magnitud (fig. 6.29).

El tramo estudiado está situado entre los aforos de Masía de Mompó (Sumacàrcer) y de Huerto de Mulet (Albalat de la Ribera). Ambas estaciones de aforos muestran un régimen natural del río con estiaje estival y máximos primaverales, aunque con unos valores más atenuados que los que se observan en la estación de Los Frailes. El caudal medio en Masía de Mompó era de 49'22 m³/seg entre 1911 y 1984, antes de la construcción de los embalses de Alarcón (1955) y Contreras (1974). Esto da un caudal específico de 2'75 l/seg/km² (Matarredona, Pérez Cueva y Sanchis, 1988, p.123). En Huerto de Mulet, este caudal histórico ya había disminuido, pasando de 52'1 m³/seg en Masía de Mompó a 39'0 m³/seg, en el periodo de 49 años estudiado por Pérez Puchal (1967, p. 176). Esto es debido a la detracción de agua de la Séquia Reial del Xúquer, y pese a los aportes del Sellent, Albaida y Magro. Pero el caudal actual es mucho menor, debido a la disminución de los aportes del Xúquer debidos a los bombeos del acuífero de la Mancha en Albacete (fig. 6.30).

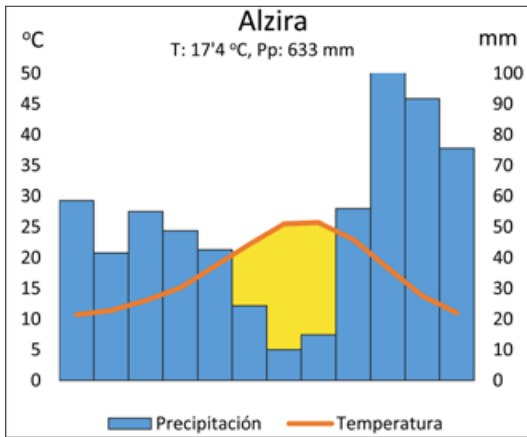


Figura 6.28: Diagrama de Gausson para la estación de Alzira.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Pérez Cueva (1994).

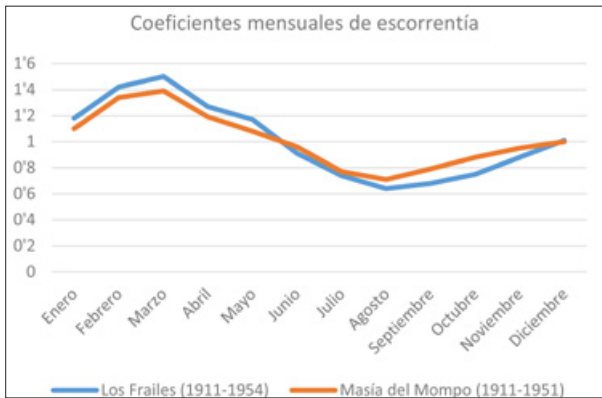


Figura 6.29: Coeficientes mensuales de escorrentía del Xúquer en los aforos de Los Frailes (1911-1954) y de la Masía del Mompó (1911-1951), antes de la construcción de los embalses Contreras y Alarcón.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Matarredona, Pérez Cueva y Sanchis (1988, p.129).

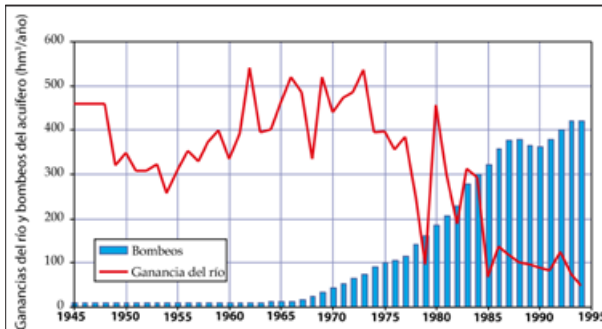


Figura 6.30: Afeción de los bombeos en La Mancha sobre los caudales del río Júcar. Ganancias del río y bombeos del acuífero.

Fuente: MMA, Libro blanco del Agua en España (2000, p.81).

El régimen de riadas del río está asociado a los grandes temporales de lluvias otoñales, como ocurre en el Mdjerda. Se han registrado crecidas históricas voluminosísimas, como la de Sant Carles, los primeros días de noviembre de 1864 (Mateu, 1983a, p.250). Este autor señala que, a partir de diferentes autores, se han podido recopilar más de 80 desbordamientos desde 1270 (Mateu, 1983b, p.292). Carmona y Ruíz (2000, p. 54), citando al CEDEX, destacan 12 inundaciones históricas destacadas desde 1406 hasta 1923, entre otras. No contemplamos la de octubre de 1982, a pesar de ser una de las grandes riadas históricas, por estar afectada por la rotura de la presa de Tous.

El régimen de riadas del Xúquer es, como puede deducirse de estos someros datos, mucho más frecuente y violento que el del Mdjerda. Esto genera un elemento medioambiental diferencial entre ambos sectores: el mayor riesgo de destrucción de los sistemas de norias y regadíos fluviales.

6.2.3.2. Características de los sistemas seleccionados de norias en la Ribera Alta

Localización

Los sistemas de norias identificados en el sector estudiado (70 norias), se distribuyen, entre el municipio de Carcaixent (28 norias) y en el municipio de Alzira, en la parte situada en la margen derecha del río Xúquer (42 norias).

Según Torres Faus (1987), en el municipio de Carcaixent, las norias fueron prácticamente inexistentes durante todo el siglo XVII, pero pasaron de 7 a 93 entre 1704 y 1798 y continuaron aumentando hasta llegar a 142 en 1833. En la cartografía histórica de Atanasio León, del año 1773 (Font y Hernández, 2010, p.169), se puede observar los espacios dedicados al cultivo de secano, con el emplazamiento de las primeras norias en los terrenos no irrigados (ver fig. 6.31).

En el análisis que hemos realizado, se observa que la ubicación de estos artefactos no es arbitraria (ver fig. 6.32). Tiene su razón de ser en el alcance de la red de acequias. En ambos municipios, el riego fluvial, de la Séquia Reial del Xúquer en Alzira y la Reial Séquia de Carcaixent en este municipio, no llega a regar los terrenos elevados del piedemonte de las sierras colindantes. El emplazamiento de las norias de Carcaixent se produce, en exclusiva, en el piedemonte existente entre la margen derecha del Bc. de Barxeta y las montañas. En el caso de Alzira, hay norias en el valle bajo del Bc. de l'Estret, en la zona final de derrames de los barrancos de Casella, Estret y la Vila, en la parte baja del cono de deyección del Bc. de la Murta y en la margen derecha del Xúquer, cuando ya discurre pegado a la ciudad de Alzira.

Así pues, las condiciones ambientales de los emplazamientos de las norias son diferentes a los del regadío de acequias. Este se ubica en el ambiente fluvial de "cuenca de inundación", de Ruiz Pérez (2001, mapa de la p. 36), mientras que las norias lo hacen en los ambientes de piedemontes plioleptocenos o de "Pleistoceno cubierto"

en los márgenes de la llanura de inundación. La razón puede ser doble: por una parte, que son zonas fuera del alcance de las acequias, y por otra, el mayor riesgo para estos ingenios hidráulicos, mucho más delicados y valiosos que una simple acequia, en una llanura con tantas riadas violentas.



Figura 6.31: Recorte del Plan topográfico de Atanasio León, 1773, correspondiente a la margen derecha del Xúquer a la altura de Carcaixent.

Fuente: Giménez y Hernández (2010, p.169).

Características y estado actual

A diferencia de los sistemas en Testour, algunas de las norias en la Ribera podían abastecer a más de un huerto. No obstante, la denominación de estos artefactos solía coincidir con el nombre de la familia propietaria (Casa de Bautista, Casa Noguera o Casa de Florencio...). Un elemento práctico en estos sistemas era la balsa de acopio. Gran parte de ellas siguen almacenando agua, pero con otros métodos de elevación. Todas las balsas identificadas en el trabajo de campo poseen una forma cuadrada (con longitud de lado de entre 8 y 11 metros), y paredes gruesas y sobreelevadas. Algunas de ellas disponen de un elemento llamativo, que es una losa de lavar fijada en el lado más próximo a la vivienda.

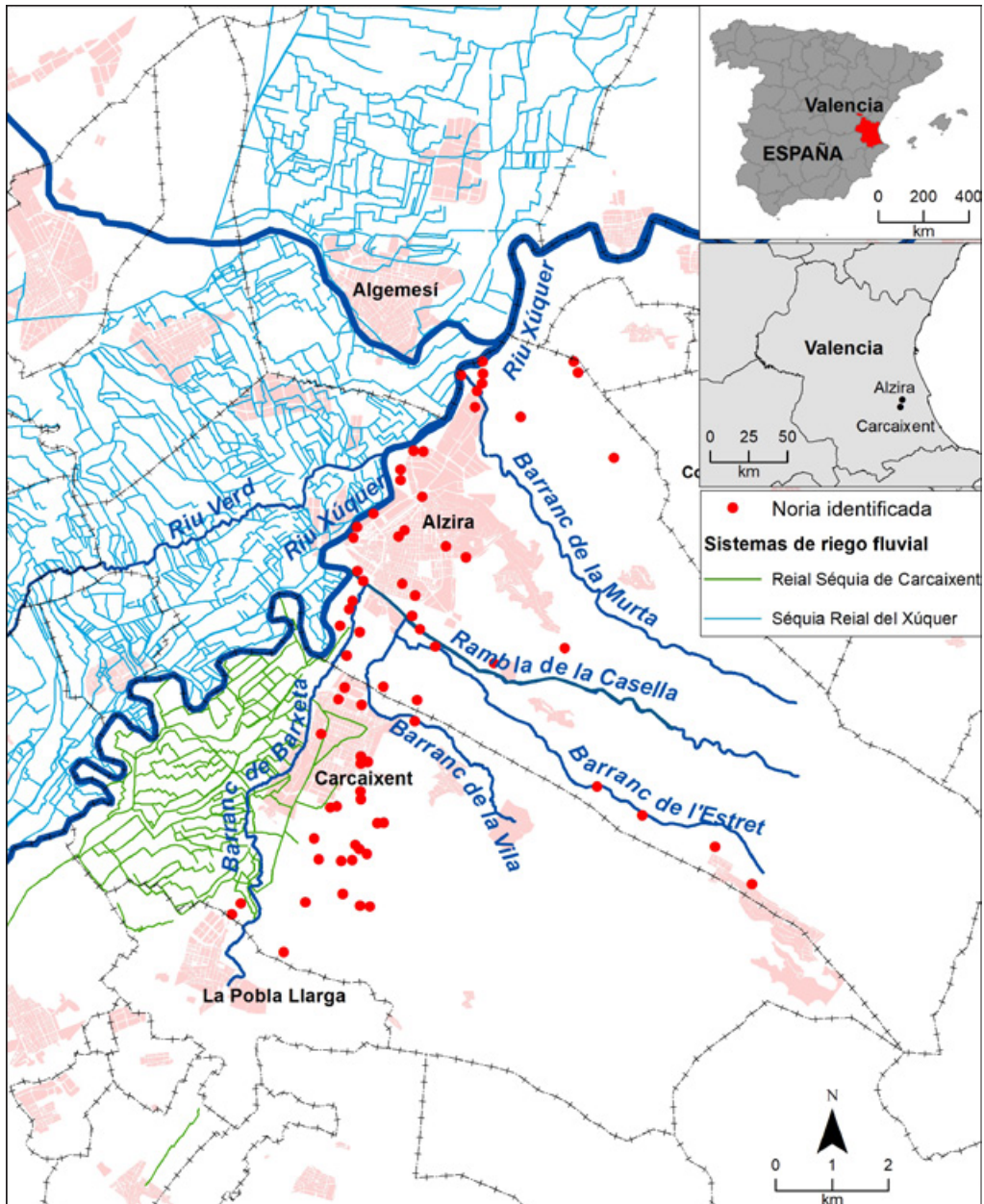


Figura 6.32: La red de regadío de la Séquia Reial del Xúquer en Alzira y la Reial Séquia de Carcaixent, realizada por el grupo de investigación ESTEPA con la localización de las norias en el sector estudiado.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, no todos los sistemas poseían balsa de acopio. Según la cartografía histórica del año 1906, el 25% de las norias de Carcaixent no poseían balsas.

Los pozos tenían una forma rectangular, ubicados en la parte central de una era circular sobreelevada, donde circulaba el animal de tiro, con un acceso en forma de escalera o rampa. En su interior se puede observar unos travesaños (ver fig. 6.34A) que separaban el lado de descenso de los cangilones, del opuesto, por donde subían.

Las primeras norias empleadas eran de madera, lo cual limitaba mucho la capacidad de extracción y, a menudo, necesitaban mantenimiento y reparaciones. Aun así, estos aparatos fueron los responsables de la primera expansión del regadío, hasta mediados del siglo XIX, cuando aparecieron las primeras norias de hierro fundido. A pesar de estas mejoras técnicas, el proceso de expansión del regadío quedó limitado a aquellas zonas que disponían de mantos freáticos poco profundos. Con el empleo de las máquinas elevadoras de agua con motor a vapor (ver fig. 6.34B) se superaron dichas limitaciones, ya que disponían de capacidad para extraer grandes caudales a mayores profundidades (Besó, 2010, p.47).



Figura 6.33: A- Noria de hierro fundido ubicada en el Huerto de Casa de la Boquera, Alzira. B- Balsa y era con las escaleras de la noria de Casa de Agustín, en el Camí de Bernabé, en Alzira. C- Balsa de la Noria de Casa de Blanc, en Carcaixent. Obsérvese la losa de lavar fijada en el lado de la balsa más próximo a la vivienda. D- Pozo y resto de la estructura que sostenía la noria de la Casa de Noguera, en Carcaixent. Fijese que es de la tipología “eje elevado”, diferente a la tipología más extendida en el sureste español, de “eje corto”.

Fuente: Autor.

Los trabajos realizados por el grupo de investigación ESTEPA sobre los regadíos tradicionales en la Ribera (Hermosilla, 2006) reflejan la inmensa cantidad de motores para la extracción de agua para el regadío de los huertos de Alzira y Carcaixent. Una gran parte de estos motores coincide, en cuanto a su localización, con las norias de la cartografía del año 1905/1906.

En **conclusión**, la utilización de las norias de sangre para la elevación del agua, no fue la primera opción para el regadío tradicional en las huertas de la Ribera Alta del Xúquer, dado su elevado coste económico y las limitaciones que presentan para el riego de grandes superficies. En los meandros del río Mdjerda, al N de Testour, sí que son el primer sistema de regadío, pero allí es debido a las dificultades que presenta la disposición de un sistema fluvial y a la escasa dimensión de las tierras potencialmente regables con él. En ambos casos, son sistemas complementarios.

El peso cultural que posee esa técnica, se deja apreciar con mucha claridad, pero es idéntico en ambos lugares estudiados. No obstante, el factor clave en el empleo de las norias sigue siendo el medio físico. Sobre todo, han sido los componentes hidrogeológicos y geomorfológicos, los principales condicionantes de su emplazamiento.



Figura 6.34: A- Interior de un pozo de la noria de Casa de Boquera en Alzira. B- Balsa y chimenea de la noria de Casa de Cogollos, en Carcaixent.

Fuente: Autor.

7. ANÁLISIS COMPARADO Y CONCLUSIONES

7. ANÁLISIS COMPARADO Y CONCLUSIONES

El objetivo de este último capítulo es comparar las diferentes soluciones adoptadas en el SE español y en el Túnez semiárido en la gestión tradicional del agua. La hipótesis de partida es que los **factores ambientales explican en la mayoría de los casos las diferentes soluciones adoptadas**, frente a otros factores como los culturales, históricos o socioeconómicos.

La mayor parte de estudios de *water harvesting* no entran en estas cuestiones de valoración del peso de los factores explicativos, o se limitan a explicar la técnica, su difusión (historia) o el contexto de aplicación.

Un segundo nivel de análisis, presente en ocasiones en los estudios, es el de asumir una hipótesis general explicativa. En este caso, los estudios de *water harvesting* suelen aceptar las hipótesis explicativas del mayor peso de los factores ambientales. Sin embargo, son muy poco frecuentes los estudios en los que se aborda esa cuestión como análisis comparado y, en todo caso, suelen limitarse a una única técnica como base comparativa.

Creemos que el **enfoque comparado** aquí realizado aporta elementos probatorios (en la medida de sus posibilidades y limitaciones) sobre una hipótesis comúnmente aceptada, pero escasamente contrastada.

El método científico adoptado no es cuantitativo, sino el de la argumentación cualitativa y la elaboración de **hipótesis plausibles**. La cuantificación se ha utilizado como elemento de comparación, para hacerla más objetiva, no como base del propio método científico. La base de la comparación está, más que en estos elementos cuantitativos, en el aislamiento de variables (por ejemplo, el tamaño de la cuenca en el estudio comparado de los sistemas de fondo de valle, o la variable climática “precipitación media anual” en el caso de las galerías drenantes), o también en el contraste de variables (como las variables climáticas en el caso de la gestión del agua en laderas).

Vamos a estructurar esta comparación en varios tipos de apartados. En primer lugar, se analizarán los diferentes tipos de contextos hidrogeomórficos empleados en los capítulos del trabajo: laderas, fondos de valle, derivaciones de aguas concentradas o aguas subterráneas. En segundo lugar, se analizarán por aislado los diferentes factores explicativos del medio físico: variables climáticas, litológicas o geomorfológicas. Y finalmente se hará una interpretación comparada de temas transversales importantes, como el de los límites de la gestión del agua como riesgo/recurso o las tendencias actuales de estos sistemas.

No se van a resumir aquí las ideas aportadas tras el **análisis necesario** realizado de cada tipo de sistema y de cada sector. Y ello, porque no constituyen objetivos del trabajo. Son cuestiones de muy diversa índole, que han salido a la luz tras esos análisis mínimos necesarios para el objetivo esencial, el análisis comparado: cuestiones como la corrección de cauces en Monteagudo del Castillo, las tipologías de acequias en la cuenca del Barraco de Cabrera, las tipologías del *meskat* según los ámbitos geomórficos utilizados o su grado de presencia, los aspectos cuantitativos de los sistemas de cultivo en fondos de valle, la relación entre la tectónica, la funcionalidad de los conos y su uso en Belkhir, la funcionalidad actual de las galerías, la relación entre los sistemas de boqueras en valles y las terrazas fluviales, la relación entre los sectores hidrogeomorfológicos de las llanuras aluviales y las norias, etc. Este trabajo ha tenido que realizar un análisis suficientemente profundo de muchos temas para poder validar sus hipótesis. Pero de ningún modo se ha pretendido realizar investigación en ellos, salvo la mínima para poder sustentar el análisis comparado. Simplemente, no entraba en los objetivos iniciales.

7.1. EL AGUA EN LADERAS

La gestión tradicional del agua en los secanos mediterráneos se hace, en su mayor parte, en este tipo de ámbito geomórfico (planos inclinados de más de 10-12° de pendiente). La solución más adoptada es la del cultivo en bancales. Esta técnica está presente tanto en Túnez como en el Levante español, con mayor o menor presencia (según la presión demográfica sobre el medio, entre otros factores), con pluviometrías anuales superiores a 450mm, y ausente casi completamente con pluviometrías inferiores a 300mm (salvo bancales forestales para repoblación o control de la erosión).

El principal problema de la **gestión del agua en laderas** es controlar la erosión y la pérdida de suelo. Esto depende de factores ambientales, como las pendientes, el tipo de litologías o la torrencialidad de la lluvia. La técnica genérica adoptada es reforzar los taludes con vegetación o piedra (en función de su disponibilidad). Pero también tenemos el problema de la concentración de la escorrentía. Los bancales suelen ser una técnica insuficiente para romper la conectividad hídrica, con lo que generan acumulaciones de agua que hay que gestionar. Este ha sido el principal elemento de comparación en los casos analizados en el capítulo 3.

Es normal que la gestión del agua generada en las laderas no se haga en ellas mismas, sino en los ámbitos geomórficos colindantes situados aguas abajo (piedemontes y glaciares, base de las laderas, vaguadas...), donde la presencia de cultivos suele ser mayor. En tales casos, el agua concentrada en las laderas puede llegar a ser considerada como un recurso. Es más, interpretando las laderas como generadoras naturales de escorrentía, pueden ser valoradas como tal y disponer técnicas para aprovechar esta agua. Esta es la base del sistema *meskat*.

Creemos que hay un “**umbral pluviométrico**”, al menos en Túnez, en el que se pasa de considerar las laderas como ámbitos geomórficos apropiados para utilizar el agua *in situ* a un ámbito poco apropiado, que es mejor utilizar como *impluvium* (para *meskat*, *tabias* de ladera, *jessour*...). En Túnez empezaría a observarse ya sobre los 400mm anuales. El ejemplo del *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 escorrentía aprovechable.

En España estos límites no están tan claros y, en todo caso, son inferiores. Aun así, con precipitaciones inferiores a 300 mm es difícil ver laderas abancaladas (no contemplamos los fondos de valle con pendientes de ladera, como los de Albánchez). Una explicación de base no ambiental es que en el Levante español la presión agrícola sobre la montaña es manifiestamente más alta que en Túnez. Pero también puede considerarse que las temperaturas inferiores condicionan unos balances hídricos menos áridos con la misma cantidad de precipitación.

En el capítulo 3 se analiza una secuencia de lugares que siguen un **transecto de mayor a menor aridez**. En Monteagudo del Castillo, el cultivo en ladera no tiene ninguna limitación hídrica (por las bajas temperaturas, más que por los volúmenes de precipitación) y sus factores ambientales (torrencialidad convectiva veraniega, litologías, pendientes...) hacen que sean productoras de escorrentía. La forma de gestionarla es con acequias de recolección y de derivación de escorrentía. Esta no es una situación buscada por necesidad, como en el *meskat* de Sousse, pero sí que se intenta aprovechar esta escorrentía, no con riegos de turbias, porque no suele ser necesario, sino como regadíos ocasionales de prados.

En el Barranco de Cabrera, básicamente, ocurre lo mismo que en Monteagudo. La ladera se cultiva de modo directo, pero la fortísima torrencialidad de la zona hace que se generen escorrentías voluminosas. Las litologías muy impermeables de los glaciares del valle (Keuper) han obligado a diseñar un complejo sistema en el que se integra el aprovechamiento de parte del agua en los bancales de los glaciares y la evacuación del agua con acequias.

En el *meskat* de Sousse, con más aridez, las laderas e interfluvios ya no se cultivan, y las acequias no tienen la función de evacuar, sino la de recolectar la escorrentía.

En todos estos ejemplos 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 las soluciones concretas es la de gestionar la conectividad de los flujos de agua, cuando se pasa de la zona recolectora de agua (las laderas) a los ámbitos geomórficos inferiores. Esto es común al siguiente ámbito analizado.

7.2. EL AGUA EN FONDO DE VALLE

Una de las ventajas de las laderas abancaladas es que captan y aprovechan *in situ* buena parte del agua de lluvia, al favorecer su infiltración. Otra de sus ventajas es que se trata de microcuencas receptoras, incapaces de generar gruesos volúmenes de escorrentía por sí mismas, salvo en topografías cóncavas o en casos de grandes dimensiones. Normalmente los taludes vegetados y los márgenes de piedra suelen ser defensas suficientes.

Pero los excedentes que van vertiéndose aguas abajo de manera escalonada, o la escorrentía superficial que no logra reinfiltrarse en laderas no abancaladas, acaba más pronto o más tarde en los fondos de valle. Allí se puede intentar aprovechar otra vez con sistemas escalonados de defensas o con microembalses. La estrategia de estos sistemas de cultivos en fondos de valle es la misma que la de la gestión del agua en las laderas: **controlar la conectividad hídrica** del flujo superficial. Esto, de entrada, suele exigir defensas más sólidas, pero al final la acumulación de agua en el fondo del valle será excesiva para poder conseguir el objetivo deseado.

Uno de los factores comunes a los cuatro casos analizados en este trabajo es que los sistemas de cultivos en fondos de valle “exigen” unas **condiciones climáticas generales más áridas**. Esta necesidad de mayor aridez es lógica: los fondos de valle de zonas áridas consiguen concentrar una mayor cantidad de agua, y este *input* puede ser suficiente para ellos, mientras que es insuficiente para cultivos en el ámbito geomórfico generador, las laderas. Otro elemento común es que los fondos de valle tienen ventajas, como su mayor accesibilidad (una cuestión topográfica) o unos suelos más potentes y fértiles.

En todo caso, los factores no ambientales con posible peso explicativo son los mismos que los de las laderas. ¿Pueden haber opciones en las que pudiéndose aprovechar éstas no se hace, de modo voluntario? Pensamos que, en general, no. En el Levante español se observa una coexistencia entre valles abancalados y laderas aprovechadas con cultivos, hasta que las condiciones climáticas ya no permiten su cultivo en ellas (por ejemplo, en Almería). Los glacis y sierras del centro y sur de Alicante son un paradigma de esta coexistencia. En Túnez se observa una menor presencia de cultivo en laderas y un paso a sistemas de *jessour* casi exclusivos con mayores cantidades de lluvia anual. Pero, como ya hemos señalado, sin menoscabo de explicaciones que apunten a factores como una menor presión demográfica, también puede deberse a factores climáticos, como una mayor evapotranspiración por sus temperaturas más elevadas.

Por el contrario, sí que se observa en los cuatro ejemplos escogidos para el análisis comparado que los sistemas **ajustan sus características** (dimensión de las parcelas, tipos de defensa, tipo de cultivo, inicio del sistema, etc.) **a las condiciones**

ambientales, en particular a las pendientes, las litologías más o menos impermeables y, sobre todo, a la torrencialidad de las lluvias. Según las combinaciones de estos factores, podemos encontrar sistemas estables o inestables en cualquier sitio de los territorios analizados. Así, los casos extremos de Valmadrid y de Koutine muestran sistemas poco degradados, con unas dimensiones del espacio cultivado ajustadas a las de las zonas productoras de escorrentía. Por ejemplo, tamaños de cuencas generadoras diferentes, más pequeños en Valmadrid y más grandes en Koutine, pero casi constantes si comparamos las partes altas, medias y bajas de los sistemas. Sus sistemas de defensa son muy diferentes, salvo en su funcionalidad: consiguen solucionar casi siempre el problema. Lógicamente, los factores clave de este “equilibrio” son diferentes. En Valmadrid la clave es la escasa torrencialidad de la zona y las litologías bastante permeables de las laderas (yesos). En Koutine, su equilibrio está basado en la escasez de las precipitaciones y en soluciones óptimas y muy convenientes para los casos extremos: captar toda el agua que llega a cada parcela, si es posible.

En los casos de Albánchez y de Matmata, se aprecia un claro desequilibrio de los sistemas, que conduce a su **degradación erosiva**. En los dos casos se observa el intento de adecuación de las características de los sistemas a su medio ambiente particular (como en Valmadrid y en Koutine). En Albánchez, la suma de unas fuertes pendientes, unas litologías bastante impermeables y una torrencialidad muy elevada hacen que las defensas de bancales con paredes de piedra pronto sean insuficientes para controlar la conectividad. En Matmata ocurre básicamente lo mismo. En lo que difieren algo es en qué hacer cuando el flujo de agua se concentra: sistemas de *mgoud* en Matmata y cultivos en las márgenes del lecho aluvial en Albánchez. Pero, en definitiva, la estrategia es la misma (aprovechar el fondo de valle mientras la conectividad esté controlada y buscar otras soluciones cuando falla) y está condicionada casi por los mismos factores ambientales.

7.3. LA GESTIÓN DE LA ESCORRENTÍA CONCENTRADA

En todos los casos estudiados en laderas y fondos de valle, como hemos señalado, se intenta aprovechar la totalidad del *input* hídrico, rompiendo la conectividad del flujo y favoreciendo la infiltración, con múltiples adaptaciones estratégicas y técnicas. No obstante, las situaciones de intensidad extrema de la precipitación acaban produciendo **excedentes hídricos**. El tamaño de la cuenca es el factor clave para pasar de unas condiciones de escorrentía dominada a concentrada y con flujo libre, en la que tienen que operar otras soluciones de *water harvesting*, de modo obligado, si se quiere aprovechar el recurso.

El **tamaño de la cuenca generadora** de escorrentía concentrada es muy dispar, pues depende de múltiples factores ambientales: pendientes, litologías,

pluviometría general e intensidad de las lluvias, etc. En condiciones naturales, en climas semiáridos, pueden observarse microcuencas generadoras de muy reducidas dimensiones (por ejemplo, en *badlands*) y, cuando interviene el factor antrópico, cuencas de grandes dimensiones con escorrentía controlada (como Koutine). Cabe hacerse la pregunta de si los factores no ambientales pueden pesar a la hora de fijar este umbral (el del tamaño de cuenca). En otras palabras, ¿es común la estrategia de aumentar al máximo el tamaño de cuenca con escorrentía controlada, en función de los parámetros ambientales limitantes o condicionantes? ¿o cabe la posibilidad de que se propicie la escorrentía concentrada, es decir, que se elija, por factores no ambientales, entre un tipo u otro de estrategia? Para contestar a ello sería necesario ampliar mucho el número de casos y estudiar a fondo, por ejemplo, los casos de transición de *jessour* a *mgoud*, como los que se dan en Aimehur, Bhira, Matmata, etc. Pero nuestra impresión es que esto no ocurre, que tanto en Túnez como en el Levante español se intenta aprovechar al máximo la escorrentía controlada, es decir, que la gestión de la escorrentía concentrada se basa en una estrategia de **apurar un recurso** (y de paso laminar un riesgo).

En los aspectos concretos de la gestión de la arroyada concentrada, a partir de los casos considerados, surgen una serie de evidencias:

a. Los sistemas pueden ser muy **diferentes entre sí**. Estas diferencias se observan tanto en el tamaño de los sistemas (desde enormes “boquerones” en conos de deyección, hasta minúsculas tomas para una parcela) como en otros muchos aspectos: por ejemplo, en la porción de agua captada, en el tipo de ambiente empleado para su aprovechamiento, en la sofisticación y envergadura de la obra y sus elementos, en la necesidad o no de unas ordenanzas que regulen el riego (en el caso de boqueras de uso colectivo), etc. En general no se observa un patrón común diferenciado entre Túnez y el Levante español, sino que toda esta diversidad de soluciones se puede dar indistintamente en ambos territorios. Como máximo, podría señalarse una tendencia a sistemas más sencillos e individuales en Túnez. Pero incluso este rasgo puede explicarse acudiendo a factores ambientales. La génesis de avenidas de mayor envergadura en el Levante español, fruto de una mayor torrencialidad, y la mayor dificultad topográfica y geomorfológica para gestionarlas, pensamos que son una hipótesis explicativa más convincente que la de acudir a factores no ambientales.

b. La adaptación al medio es muy compleja, pero siempre se observa una **“estrategia ambiental”**. Este es un rasgo común que creemos que es muy potente a la hora de interpretar los factores de estos sistemas de *water harvesting*. Es aquí muy difícil resumir cada uno de los factores clave de la estrategia ambiental de los múltiples casos estudiados. Pero, en todo caso, cabe destacar una serie de rasgos que pueden sustentar la idea. En primer lugar, el mismo contexto semiárido y la necesidad de una torrencialidad de las lluvias, que deben ser capaces de generar unas escorrentías con un

volumen y una frecuencia mínimos. Esto requiere la concurrencia compleja de factores ambientales que determinen el tamaño de la cuenca (litológicos, topográficos...). Por otra parte, se intenta adecuar la cantidad del agua captada al medio en el que se aprovecha (máxima en los conos de deyección con la red fluvial encajada y mínima en glaciés y terrazas, cuando la red fluvial apenas está incidida). Por último, el mismo tipo de cultivos llega a ser utilizado como elemento de amortiguación de la fuerte variabilidad del funcionamiento de estos sistemas. Las bases de esta “estrategia ambiental” son conocer el medio natural y su funcionamiento, y adoptar soluciones lo más “rentables” posible en la relación entre el esfuerzo de adaptación y el rendimiento.

c. El **factor geomórfico** es esencial en la interpretación de las soluciones adoptadas. Podría interpretarse que la aludida gran diversidad de soluciones que se observan en los sistemas de boqueras y *mgoud* pudiera deberse a factores de tipo cultural, pero siempre cabe una explicación convincente de la mano de los condicionantes geomórficos en la explicación de esta diversidad. Por ejemplo, en el tamaño de los sistemas, la clave parece estar en el encajamiento que presenta la red fluvial. Si tiene una cierta magnitud, este encajamiento exige obras de mayor envergadura y solidez, sólo compensadas con sistemas de mayor tamaño. Esta es la principal diferencia entre los sistemas en conos de deyección murcianos y los de la zona de Gafsa. Allí son conos activos, con flujo muy poco incidido en su parte final e incluso zonas terminales de derrame, lo que facilita gestionar el agua con múltiples pequeñas tomas. Otro ejemplo es el de los *parats*, prácticamente ausentes en Túnez, que se explican en tierras alicantinas por la suma de una red fluvial muy incidida, unos difíciles ámbitos geomórficos de aprovechamiento y una intensa torrencialidad: Se necesitan obras muy sólidas, de gran tamaño y, con ello, unos sistemas grandes y muchas veces con elementos de conducción laboriosos (por ejemplo, los *alcavons*).

7.4. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En este apartado temático se han comparado dos tipos de sistemas de gestión, las norias y las galerías drenantes. En el primer caso, la comparación se ha basado en la elección de un medio físico muy similar. En el segundo se ha seguido una estrategia parecida, la de aislar la variable climática de las lluvias totales anuales, pero también la de elegir sólo un tipo de galerías, las que tuviesen relación con acuíferos subálveos o detríticos aluviales cuaternarios.

En el caso de las **norias** se contaba con un ejemplo tunecino, casi exclusivo, situado en unos amplios meandros del Mdjerda, que se ha podido comparar con las norias existentes en la llanura aluvial de un río meandrizante de características muy similares, el Xúquer. Ambos ríos son equivalentes en cuanto a tamaño de sus cuencas, contexto geológico alpino, pluviometría media, caudales, en su régimen de riadas (en menor medida)... e incluso, más o menos, en los aspectos geomórficos de detalle (amplitud de la llanura aluvial, pendiente, carácter meandrizante del río

principal, existencia de zonas protegidas al margen de la llanura de inundación, acuíferos superficiales...). Ante tal similitud de condiciones, la hipótesis nula de partida era que no debía haber diferencias sustanciales en las características y uso de la técnica y la alternativa era que, si se encontraban diferencias, estas eran debidas forzosamente a factores no ambientales.

Del análisis comparado efectuado parece deducirse que **no hay diferencias significativas** en el uso de estos sistemas entre ambos lugares: la misma técnica básica (norias de sangre), con la misma evolución tecnológica (arcaduces, madera, hierro, motores...), con densidades espaciales similares, usos básicamente individuales, relativamente incompatibles con sistemas de riego de origen fluvial, e incluso protegidos al máximo de las inundaciones. Sin embargo, es difícil afirmar rotundamente que estos sistemas no están afectados por condicionantes de tipo no ambiental, ya que desde el punto de vista cultural tienen un origen común. Es decir, es posible que no haya diferencias porque no pueda haberlas, por lo que no puede afirmarse en este caso que el uso de la técnica esté solo controlado por factores ambientales.

En el caso de las **galerías drenantes** la comparación también es difícil, sobre todo por el escaso número de galerías de este tipo halladas en Túnez. Además, en este tipo de galerías, es muy problemático averiguar el grado de producción de las aguas subálveas y la de los acuíferos detríticos cuaternarios. Y 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 (litologías alternantes en la cuenca, anchos de cauce, tamaños de cuenca, necesidad de una notable torrencialidad...) y sobre la similitud de características tipológicas, morfológicas y constructivas. Pero no puede concluirse que los factores ambientales sean determinantes en las similitudes ni en las diferencias. A ello se une lo señalado anteriormente para las norias: **una misma herencia cultural** limita las diferencias e impide discriminar adecuadamente el peso de los factores genéticos de cualquier tipo, ambientales o no.

7.5. EL FACTOR CLIMA

En este análisis comparado queremos estudiar brevemente, también, algunos aspectos transversales, comenzando por los principales factores ambientales considerados. El primero de ellos es el factor climático. El clima ha sido considerado un **“factor de factores”**, pues influye en otros factores como la vegetación, suelos, erosión, usos del suelo, acción antrópica... Es un factor primario que influye en muchos otros factores secundarios.

A lo largo de este trabajo, en todos los casos estudiados ha sido un factor analizado, y siempre se ha visto su impronta, tanto de modo indirecto como directo, llegando a ser en ocasiones el factor clave de la existencia, funcionamiento y

características de un sistema. Quizá uno de los casos más sorprendentes sea el de los sistemas de derivación de escorrentías de laderas para generar prados en Monteagudo del Castillo: para un uso del suelo ganadero bovino en un sector semiárido de montaña. Allí, con una pluviometría muy poco superior a la de otros sectores estudiados, el clima permite un paisaje semiárido “verde” y apto para la ganadería bovina. Las claves están en las bajas temperaturas (un factor pasivo) y en la especial tormentosidad estival de la Sierra de Gúdar (un factor activo), pero esto no hubiese sido suficiente sin sistemas de acequias que proporcionen unos riegos de apoyo en el momento más crítico del año. En el extremo opuesto tenemos el *jessour* de Koutine (o incluso los sistemas de *mgoud* de la llanura de Jeffara, entre Gabes y Medenine). Allí, a pesar de la extrema aridez, un elemento concreto del clima, la frecuencia de unas precipitaciones mínimamente intensas, es la clave del funcionamiento todavía actual de estos sistemas.

El clima actúa como factor condicionante en el *water harvesting*, tanto factor limitante como favorecedor, incluso factor clave. Y actúa desde múltiples procesos y morfologías (temperaturas, evapotranspiración, aridez, pluviometría media anual, valores y frecuencias de la precipitación intensa, torrencialidad extrema...). En esencia, en los casos estudiados, salvo excepciones, sus elementos más importantes son dos, la precipitación media y la intensidad de la precipitación. La **precipitación media** suele actuar como factor limitante, tanto en máximos como en mínimos. Es algo evidente y ya ha sido señalado: la existencia de todos estos sistemas de *water harvesting* estudiados es impropia fuera de climas semiáridos. Está modulada por las temperaturas, porque el concepto clave, en realidad, es la aridez.

El otro factor climático esencial es la **intensidad de la precipitación**. Es un factor activo, recurrente y clave en muchos de los sistemas analizados: La intensidad de las lluvias convectivas veraniegas en los sistemas de Monteagudo, ya comentada; el delicado equilibrio y la necesidad de acequias de evacuación en el Bc. de Cabrera, para controlar la altísima torrencialidad de la zona; el delicado equilibrio del diseño del *meskat* de Sousse, que necesita a la vez lluvias intensas que generen escorrentía en las laderas y protegerse de ella... Lo mismo ocurre en los sistemas de cultivos en fondos de valle y de gestión de arroyadas concentradas: por una parte, necesitan una torrencialidad mínima, y por otra, adoptar unos diseños adecuados para protegerse de ella. En el caso de los *mgoud* y boqueras, además, se necesita una mínima frecuencia de estas 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. Solo las norias escapan de este condicionante ambiental, aunque indirectamente no del todo, pues su ubicación, tanto en Testour como en el Xúquer, intenta protegerlas de las grandes avenidas fluviales.

En la totalidad de estos casos no se observan soluciones diferentes ante unos mismos condicionantes climáticos. Básicamente el modelo de adaptación es el mismo,

si bien modulado por otros factores ambientales concurrentes. Y la base de la estrategia de los sistemas también es la misma: necesitan la intensidad de la precipitación, la intentan aprovechar al máximo e intentan esquivar, con muy diversas soluciones, los problemas que la torrencialidad de la lluvia genera. Y, en último extremo, se cambia de sistema (obsérvese la rápida transición espacial entre el *jessour* y el *mgoud* en el sur tunecino). La misma coexistencia de tipos diferentes de sistemas en un mismo territorio, cuando el resto de factores ambientales modulan la torrencialidad y exigen soluciones diferentes, es una prueba más de lo señalado.

7.6. EL FACTOR LITOLÓGICO

Una particularidad de los dos territorios comparados es su notable **uniformidad geológica**, tanto en su historia sedimentaria, en las litologías resultantes, en la tectónica alpina y en las morfoestructuras finales. Los dos territorios tienen zócalos rígidos con un papel activo en la orogenia alpina, precámbrico en Túnez y paleozoico en España, han tenido ambientes sedimentarios similares, de mares profundos o someros en el Secundario y de tipo tanto marino como continental en el Cenozoico. Como resultado de ello, son comunes las litologías carbonatadas (propias de las plataformas marinas someras) así como las litologías arcillosas y margosas, además de los conglomerados y arcillas de las cubetas neógenas, etc. Una evolución tectónica similar también ha favorecido esta homogeneidad. En síntesis, las estructuras y dominios geológicos tunecinos son, de N a S, el equivalente a los béticos, de S a N.

Las diferencias estructurales y litológicas en los casos estudiados, muchas veces, han obedecido a la selección de los emplazamientos, más que a las características geológicas de los territorios en sí mismas. Por ejemplo, son diferentes las litologías de los dos sistemas de cultivos en fondo de valle más frágiles, Matmata y Albánchez, o las de las cuencas de recepción de los conos de deyección de los dos sistemas de boqueras más grandes, Belkhir y Lorca, porque los casos tunecinos son propios de lo que en España sería el dominio prebético, y los del SE español del penibético.

En general la litología es un **factor condicionante**, pero pocas veces determinante. En ocasiones, incluso puede ser inocuo o muy poco condicionante, como las litologías calcáreas alternantes del Portlandiense en Monteagudo del Castillo, o las características litológicas de las cuencas del Mdjerda y Xúquer en relación a las riadas y presencia de norias en sus llanuras aluviales... La mayor parte de las veces es un factor que modula otros factores ambientales, como ocurre con la permeabilidad de los yesos en Valmadrid, que disminuye la escorrentía superficial y ayuda a la estabilidad del sistema, al igual de las dolomías del Cretácico superior de las montañas perimetrales del valle de Chaaoua, en Koutine. El sustrato impermeable del Keuper, en el Barranco de Cabrera, en Segorbe aumenta la inestabilidad del sistema, al igual que lo hace el sustrato impermeable de conglomerados de esquistos y otros materiales paleozoicos

de las montañas de Albánchez. El carácter arcilloso de las laderas de *impluvium* del *meskat* en Sousse, por ejemplo, es un factor que ayuda a su presencia y funcionalidad.

Queremos destacar, sin embargo, dos ejemplos en los que el factor litológico sí que llega a tener el **carácter determinante** o fuertemente condicionante. En el caso de las galerías drenantes de aguas subálveas es muy conveniente que las cuencas de recepción aguas arriba sean de litologías alternantes, pues tienen que generar escorrentías con facilidad tras unas lluvias intensas, pero a la vez proporcionar detriticos gruesos (arenas, gravas, cantos) para el álveo del cauce donde se emplaza la galería. En el caso de las boqueras del SE español, las litologías calcáreas de muchas cabeceras de barrancos parecen ser la clave de los mayores umbrales de intensidad de precipitación requeridos. Entre los tipos de sistemas, el que parece ser más condicionado por la litología en su fragilidad es el de los cultivos de fondo de valle, y en su funcionamiento, el de las boqueras o *mgoud*.

7.7. EL FACTOR RELIEVE Y EL AMBIENTE GEOMÓRFICO

El relieve y la geomorfología son otras dos consecuencias de la evolución geológica que pueden influir directamente sobre los sistemas de *water harvesting*. En definitiva, la geología es el otro gran “factor de factores”. También suelen ser factores condicionantes, pero pocas veces determinantes.

El **relieve** es importante como factor generador y modulador de las escorrentías, en el sentido de que hace que se organicen más rápido, sean más voluminosas, y que sean más violentas, con más capacidad erosiva y más capacidad de arrastre. También puede ser un factor indirecto, modulando algún aspecto climático que sí tenga un papel directo (como ocurre, por ejemplo, en la mayor pluviosidad por incremento de la torrencialidad en el frente montañoso del Dahar).

En los casos analizados, por ejemplo, el relieve está detrás de la mayor fragilidad de los sistemas de cultivos en fondo de valle de Albánchez y Matmata, aunque no sea el factor clave. En los sistemas de boqueras y *mgoud*, por la misma razón (que modula la escorrentía), también influye en la funcionalidad del sistema y en la envergadura de las obras, sobre todo, de las presas de derivación de agua. Esta es una de las principales bases de las diferencias entre las boqueras alicantinas y las estudiadas en el sur tunecino.

El **ambiente geomórfico** es importante en el emplazamiento concreto de los sistemas, y algunas veces es un condicionante de sus características, pero solo es el factor esencial en los casos de *water harvesting* de aprovechamiento de aguas subálveas. Tampoco en este factor se aprecia un patrón diferente entre los territorios comparados. Esto es debido, en parte, a que el ambiente geomórfico ha sido utilizado a gran escala como criterio a la hora de seleccionar los sistemas y los casos de estudios: todos ellos están en glacis, terrazas fluviales, conos de deyección, fondos de valle, parte baja de las laderas, etc.

A **escala de detalle**, el ambiente geomórfico puede ser un factor condicionante. Es el caso de la morfología radial y gran tamaño de las boqueras emplazadas en conos de deyección, o el de la utilización preferente de la terraza baja (T1) en las boqueras de valle. En estos últimos sistemas sí que es determinante un rasgo geomorfológico general a todo el Levante español, la fuerte incisión de la red fluvial que, como se ha señalado, obliga a construir obras de captación del agua muy grandes y resistentes.

En los sistemas de aprovechamiento de aguas subálveas y subterráneas someras, el ambiente geomórfico concreto llega a ser decisivo. Por ejemplo, las galerías drenantes, incluso las que no son estrictamente de aguas subálveas, como los *qanats*, guardan una estrecha relación con la geomorfología (minas en laderas, *qanats* en glacis, zanjas y cimbras en lechos y terrazas fluviales...). 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 (T0 y T1), a efectos de aumentar su recarga; la bocamina casi siempre utiliza este ambiente geomórfico de terraza fluvial, muy apropiado para el regadío.

En las norias de sangre de contexto fluvial no puede concluirse esto mismo, como prueba de homogeneidad entre los sistemas de los dos territorios comparados, pues justamente ha sido un criterio concreto de selección de las áreas de estudio (Testour y Carcaixent-Alzira). Pero su estudio detallado muestra similitudes no buscadas ni esperadas: se emplazan en el punto óptimo en el que el nivel freático está alto (lo que las lleva a estar cerca del río) y en el que el riesgo de inundación es mínimo (lo que las lleva a alejarse del río).

7.8. EL AGUA COMO RIESGO / RECURSO

Los sistemas de **water harvesting**, o “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 esta doble componente es algo mucho más complejo y difícil. Un ejemplo, fuera del contexto temático nuestro trabajo, puede ilustrar esta idea: en el Levante español, en la gestión de las avenidas con pequeños embalses, en las que éstos son normalmente el único y a veces insuficiente elemento de laminación, si se prima la componente de riesgo de la avenida, el embalse puede acabar con menos agua que la que tenía al inicio. Y frecuentemente el paso temporal desde riesgo a recurso en una avenida es muy rápido.

Estos problemas de la gestión “activa” del agua como riesgo o recurso (R/R) no se dan en los sistemas de *water harvesting*, pues son sistemas “pasivos”. 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 en la misma decisión de utilizar o no un sistema, y cuál de ellos).

Un repaso a las **estrategias** de gestión R/R de algunos de los casos estudiados puede ilustrar sobre cuáles son sus bases y características:

- En las cuencas de Monteagudo del Castillo, en la gestión R/R, prima el riesgo. El diseño de la red de acequias recolectoras y evacuadoras, así como las correcciones de cauces, está pensado para controlar la erosión. Pero se aprovecha el recurso mediante riegos de prados, zonas de derrames o balsas de acumulación. En el Bco. de Cabrera, en Segorbe, ocurre lo mismo (acequias, derrames, balsas y aljibes...), pero además el abancalamiento, integrado en el sistema, está diseñado para disminuir el *input* a las acequias, o al menos para ralentizarlo.
- En el *meskat* de Sousse el diseño del sistema tiene que cumplir un doble objetivo: generar escorrentía al máximo en el *impluvium* e intentar que no llegue nada de ella a los barrancos colectores o a las partes bajas de los glacis. Nótese que se trata de estrategias contradictorias, que sólo pueden complementarse con una proporción perfecta y experimentada entre *impluvium* 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, acarcavamiento y erosión remontante de la red fluvial colectora).
- En los sistemas de *jessour* y cultivos en fondo de valle, ya se ha resaltado en varias ocasiones su frágil equilibrio. En ellos, la parte aprovechable del recurso suele ser una porción mayor o menor de la totalidad. Sólo en el caso de Koutine, y en parte en Valmadrid, se ha apreciado un aprovechamiento casi al 100% del recurso. En los otros casos estudiados, por el contrario, el diseño del sistema asume que parte del agua generará riesgo, más pronto o más tarde, y que esto irá en aumento si el tamaño del sistema es excesivo. Así pues, las estrategias básicas son dimensionar el sistema no más allá de que sea insostenible y cuidar al máximo los elementos de rotura de la conectividad, aumento de la infiltración y defensas contra la erosión.
- Finalmente, en los sistemas de boqueras, la estrategia de la gestión R/R es doble. Por una parte, han de ser sistemas suficientemente sólidos como para protegerse a sí mismos de la erosión, pero al mismo tiempo tienen que evitar generar riesgos de erosión en los lugares donde derraman el agua. Esto justifica la observación que hacía el abate Cavanilles sobre los campesinos de Alicante, que corrían a sus campos cuando tronaba. En realidad, derivar el recurso y el potencial riesgo a sus campos supone disminuir el recurso y el potencial riesgo en otros lugares. Esta es una función “pasiva” en diferido de laminación del riesgo que ha sido atribuida al Boquerón de Tiata.

En **conclusión**, tenemos todo tipo de situaciones en la gestión tradicional del agua desde la óptica R/R: gestión de primar el riesgo y aprovechar el recurso (Monteagudo, Cabrera...), gestión primar el recurso e intentar disminuir el riesgo (*jessour*, boqueras, norias...), gestión únicamente como recurso (galerías), gestión de controlar el riesgo y el recurso a la vez (*meskat*). Pero, en general, todos los sistemas de *water harvesting* acaban teniendo en mayor o menor medida la función de laminación del riesgo, como la atribuida a la gran boquera de Tiata en la huerta de Murcia: toda agua que logre ser captada e infiltrada acaba disminuyendo poco o mucho el riesgo de inundación en algún lugar.

7.9. TENDENCIAS ACTUALES

En este aspecto es en el que se observan más diferencias entre los dos territorios comparados, y pocas de ellas pueden atribuirse de modo claro a los factores ambientales. No obstante, también se dan similitudes entre todos los casos de estudio. En general se observa una tendencia común en la **degradación del uso** de estos sistemas y en las consecuencias que ello conlleva, en especial en la erosión. Las diferencias están en el grado de esa degradación.

En el caso del Levante español se observa, tanto un **gran abandono** de los sistemas primarios de *water harvesting* (los aterrazamientos de las laderas), como de los elementos de defensa de sistemas más complejos. En Monteagudo del Castillo y en Segorbe se observa un abandono de las acequias de derivación; los cultivos de fondo de valle de Albánchez descuidan sus defensas (no así en Valmadrid); los sistemas de boqueras están prácticamente desaparecidos, así como el uso de las norias; el único tipo de sistemas que goza una cierta salud es el de las galerías de aguas subálveas. Esto es producto, lógicamente, del despoblamiento rural y de la baja rentabilidad de estos sistemas de producción.

En Túnez se observa en general un **mayor uso y mantenimiento** de los sistemas, pero con clara tendencia a la degradación. El *meskat*, por ejemplo, se ve afectado por la expansión urbana y por fenómenos crecientes de acarcavamiento remontante. Esto último denota una mayor producción de escorrentía no controlada, que está estrechamente relacionada con la desintensificación del uso agrícola del suelo. Los *mgoud* y los *jessour* gozan de relativa buena salud, pues se siguen utilizando, aunque también se observa un cierto descuido de la reparación de las defensas. El sector más degradado es el del *jessour* en Matmata, por la fragilidad ambiental de ese entorno y la presión de la opción económica basada en el turismo sobre la población local. En conclusión, se trata de diferencias marcadas por el grado de desarrollo económico de ambos países, el diferente grado de urbanización y éxodo rural y, en última instancia, por el diferente régimen demográfico.

También pueden destacarse **factores de tipo económico o tecnológico** para explicar similitudes o diferencias en la gestión del agua subsuperficial de las norias y las galerías drenantes. En el caso de las norias, el uso actual de tecnologías de extracción basadas en motores ha conllevado una transformación o abandono similar en contextos ambientales casi idénticos (los meandros del Mdjerda y del Xúquer) que no han sufrido cambios ambientales significativos para el uso de la técnica. Por el contrario, el mismo uso de esta tecnología, por el descenso de los acuíferos que comporta, ha provocado grandes problemas en la funcionalidad de las galerías en Túnez, a diferencia de las españolas.

En cuanto a los **factores ambientales de degradación**, no se observa que sean claves, y mucho menos a la hora de marcar diferencias. El principal es el incremento de la aridez debida al aumento global de las temperaturas. Otro factor pudiera ser el de la disminución de la frecuencia de las lluvias intensas, asociado también al cambio global en el Mediterráneo. Es un factor muy valorado en la gestión del agua de arroyada concentrada, según constatan sus usuarios, y probablemente en el mantenimiento de la técnica del *jessour*. Finalmente, al menos en España, el abandono de cultivos, la reforestación y, en consecuencia, la alteración de los balances hídricos de los suelos, quizá pudiera tener consecuencias no deseadas en cuanto a producción primaria de escorrentía, con el consecuente debilitamiento de todas las técnicas de *water harvesting*. Pero estos factores ambientales de cambio, ni han sido objeto de estudio en este trabajo, ni se han podido obtener evidencias indirectas, ni pensamos que sean capaces de marcar diferencias sustanciales en la referida actual tendencia a la degradación.

* * *

En **conclusión**, de este análisis comparado entre diferentes sistemas de *water harvesting* en el Levante español y el Túnez árido y semiárido se deduce una idea principal: que los factores ambientales explican de modo casi completo la existencia, emplazamiento, características y funcionalidad de todos los tipos de sistemas analizados, en todos los casos estudiados. La concurrencia de los factores no ambientales (históricos, culturales, económicos, políticos, sociales, etc.) no suele ser necesaria en las hipótesis explicativas de cada caso y, en todo caso, no puede demostrarse. Tampoco puede demostrarse de modo taxativo, en principio, el potencial condicionante o limitante de los factores ambientales, más allá de la formulación de hipótesis plausibles y convincentes. Pero es nuestra aportación, pensamos que científica, a una idea ampliamente aceptada pero poco contrastada.

Otros objetivos e ideas menores de este trabajo ya han sido expuestos en los apartados temáticos y muchos de ellos resumidos en el análisis comparado final. Destacaríamos en todo caso otras ideas esenciales. Sin un orden determinado,

podemos citar: la inteligente adaptación al medio de las sociedades tradicionales, manifestada a través de la elección y uso adecuado de los sistemas pertinentes; la fragilidad de algunos sistemas, fruto del intento de aprovechar al máximo los recursos; la extraordinaria diversidad de técnicas y soluciones adoptadas; la importancia de algunos factores, en singular la intensidad de la precipitación y finalmente, la gestión de los sistemas desde una óptica integrada de recurso/riesgo. Todas estas ideas básicas, y otras menores, se observan indistintamente en el Túnez semiárido y en el Levante español. Son territorios comparables en lo geológico (tectónico, litológico, estructural...), en lo climático (aridez combinada con torrencialidad), en lo hidrológico, geomorfológico, etc., con unos mismos patrones básicos de gestión tradicional del agua.

Ojalá esta gestión se hubiese conservado en mayor medida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- ABDO, G.M. Y 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". Bhanu Neupane, International Hydrological Programme, International Centre on Qanats and Historic Hydraulic Structures of Yazd, Iran, pp. 79-99.
- ABIDI, S., HAJJI, O. Y HABAIEB, H. (2015): "Application du modèle de Muskingum pour la prévision des crues de la Medjerda en Tunisie [Flow forecasting by Muskingum model of Medjerda River in Tunisia]". *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10(4), 1.277 pp.
- AL HASSAN, A.Y. Y HILL, D.R. (1986): "Islamic technology; an illustrated history". Cambridge University Press, Cambridge, 322 pp.
- ALAYA, K, VIERTMANN, W. Y WAIBEL, T. (1993): "Les tabias". Direction générale des forêts (Ministère de l'Agriculture), Tunis.
- ALLAN, J.A. (2001): "The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy". I.B. Tauris & Co. Ltd., London, UK, 382 pp.
- ALONSO, S. (1997): "Anomalia - Some considerations on the role of sea and mountains in the development of heavy rain events", pp. 461-462. En: "Simposio internacional INM/OMM sobre ciclones y tiempo adverso en el Mediterráneo". Ministerio de Medio Ambiente, Palma de Mallorca, 841 pp.
- ÁLVARO LÓPEZ, M., CAPOTE VILLAR, R. Y VEGAS MARTÍNEZ, R. (1979): "Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica". *Acta Geológica Hispánica*, 14(1), pp. 172-177.
- AMARI, A. (1986): "Des oscillations du niveau marin durant le Quaternaire sur le littoral de Sfax". *Science de la terre*, Tunisie, 4, pp. 71-78.
- 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, València, 1.291 pp.
- ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (2006): "Galerías drenantes representativas del sureste peninsular", pp. 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, 226 pp.
- ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M., ESCRIVÁ ALMIÑANA, R., PÉREZ CUEVA, A.J. Y GARCÍA PATÓN, J. (2008a): "Galerías drenantes seleccionadas en el interior de la España península", pp. 131-212. 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, 269 pp.
- ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M., ESCRIVÁ ALMIÑANA, R., PÉREZ CUEVA, A.J. Y GARCÍA PATÓN, J. (2008b): "Galerías drenantes seleccionadas en el litoral de la España península", pp. 61-130. En: HERMOSILLA, 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, 269 pp.
- ARCHE MIRALLES, A., EVANS, G. Y CLAVELL VERGÉS, E. (2010): "Some considerations on the initiation of the present SE Ebro river drainage system: post-or pre-Messinian?". *Journal of Iberian Geology*, 36, pp. 73-85.
- ARMAYOR CACHERO, J.L., MURILLO DÍAZ, J.M. Y MARTÍNEZ MARÍN, R. (2001): "Factores hidrometeorológicos y determinación de excedentes hídricos potencialmente utilizables en las operaciones de recarga artificial de acuíferos". *Hidropres: Tecnología de captación, gestión y tratamiento del Agua*, 32, pp. 24-33.
- ARMENGOT SERRANO, R. (1994): "Las precipitaciones extraordinarias". En: PÉREZ CUEVA A.J., "Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana (1961-1990)". Conselleria d'Obres Públiques Urbanisme i Transports, Generalitat Valenciana, València, pp. 98-99.
- ARMENGOT SERRANO, R. (1999): "Precipitaciones intensas en la Comunidad Valenciana 1950-90. Análisis volumétrico". *IV Simposio Nacional de Predicción del INM*. INM, Madrid, pp. 587-590.
- ARMENGOT SERRANO, R. (2002): "Las llluvias intensas en la Comunidad Valenciana". Instituto Nacional de Meteorología (INM), Madrid, 263 pp.

- ARMENGOT SERRANO, R. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (1996): “La importancia hídrica de los volúmenes de precipitación intensa en el territorio valenciano”. En: MARZOL, M.V., DORTA, P., Y VALLADARES, P., “*Clima y agua. La gestión de un recurso climático*”. Tabapress. Santa Cruz de Tenerife, pp. 225-234.
- ARMENGOT SERRANO, R. (1994): “Temporals de llevant”. En: PÉREZ CUEVA A.J., “*Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana (1961–1990)*”. Conselleria d’Obres Públiques Urbanisme i Transports, Generalitat Valenciana, València, pp. 50–51.
- ARMENGOT SERRANO, R., ABELLÁN, J.J. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (2001): “Evaluación de un modelo de regresión logística de lluvias intensa en territorio valenciano con el episodio de octubre de 2000”. En: Pérez Cueva, A.J., López Baeza, E. y Tamayo, J., “*El Tiempo del Clima*”. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, 2, pp. 291-301.
- ARNÁEZ, J., LANA-RENAULT, N., LASANTA, T., RUIZ-FLAÑO, P. Y CASTROVIEJO, J. (2015): “Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes”. *Catena*, 128, pp. 122-134.
- ATLAS CLIMÁTICO IBÉRICO (2011): “*Temperatura del aire y precipitación (1971–2000)*”. Agencia Estatal de Meteorología de España y Departamento de Meteorología e Clima, Instituto de Meteorología de Portugal, 79 pp.
- BABAULT, J., LOGET, N., VAN DEN DRIESSCHE, J., CASTELLTORT, S., BONNET, S. Y DAVY, P. (2006): “Did the Ebro basin connect to the Mediterranean before the Messinian salinity crisis?”. *Geomorphology*, 81, pp. 155-165.
- BAHRI, R.Y. (2009): “Aportes Culturales de Los Moriscos en Túnez”. *Revista de Historia Moderna*, 27, pp. 265-276.
- BANNOUR, H. Y BONVALLOT, J. (1988): “Les dépôts quaternaires de la vallée de la Medjerda dans la «zone des diapirs», témoins de déformations quaternaires continues”. *Méditerranée*, 64(2), pp. 7-11.
- BARCELÓ, M., CARBONERO, M.A., MARTÍ, R. Y ROSSELLÓ-BORDOY, G. (1986): “*Les aigües cercades: Els qanât(s) de l’illa de Mallorca*”. Institut d’Estudis Baleàrics, Palma de Mallorca, 145 pp.
- BARÓN, A. Y 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, pp. 781-795.
- BAZZANA, A., VIDAL, M. J. P., CLIMENT, S. Y MONTMESSIN, Y. (1987): “*El yacimiento medieval de “Les Jovades” en Oliva (Valencia)*”. Ajuntamiento de Oliva, Oliva, 131 pp.
- BEAUDET, G., MAURER, G. Y RUELLAN, A. (1967): “Le Quaternaire marocain. Observations et hypothèses nouvelles”. *Geogr. Phys. et Geol. Dyn.*, serie 2, 9(4), pp. 269–309.
- BECKERS, B., BERKING, J. Y SCHÜTT, B. (2013): “Ancient water harvesting methods in the drylands of the Mediterranean and Western Asia”. *eTopoi. Journal for Ancient Studies*, 2, pp. 145-164.
- BEN AMMAR, S., ZOUARI, K., LEDUC, C. Y M’BAREK, J. (2006): “Caractérisation isotopique de la relation barrage—nappe dans le bassin du Merguellil (Plaine de Kairouan, Tunisie centrale)”. *Hydrological sciences journal*, 51(2), pp. 272-284.
- BEN BOUBAKER, H. Y HENIA, L. (2008): “Les principaux aménagements hydrauliques traditionnels”. En: HENIA, L. (Dir.) “*Atlas de l’eau en Tunisie*”, pp. 86-49. Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche “GREVACHOT”, Tunis, 186 pp.
- BEN FRAJ, T. (2012): “Proposition d’un schéma chronostratigraphique des héritages quaternaires continentaux de la Jeffara septentrionale et de la partie nord-orientale du plateau de Dahar-Matmata (sud-est tunisien)”. *Quaternaire*, 23(2), pp. 187-204.
- BEN HAJ FARHAT, K. Y REJEB, H. (2012): “Analyse des paysages naturels des gouvernirats de Sousse, Monestir, Mahidia, Kairouan et Sfax”, pp. 185-190. En: HERMOSILLA PLA, J., MOUSSA, M., REJEB, H., ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M., FANSA, G., ABASSI, M., BEN HAJ, K., HALLOUL, S., SAYARI, N. E IRANZO GARCÍA, E., “*Paisaje y galerías de agua en la región centro-oriental de Túnez: Las Gobernaciones de Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax y Kairouan*”. Departament de Geografia, Universitat de València, València, 252 pp.
- BEN HAJI, A., JEDOUÏ, Y., DALI, T., BEN SALEM, N. Y MEMMI, L. (1985): “*Carte géologique de la Tunisie à 1/500.000*”, Office National des Mines, Service Géologique National de Tunisie, Tunis.

- BEN SAKKA, M. Y BOUGHRARA, L. (2008): "Pluies journalières maximales selon différentes périodes de retour", pp. 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, 186 pp.
- BEN SALEM, A., BOUAZIZ, R., SARAH, M. Y MAJDOUB, R. (2016): "Identification and mapping of dysfunctional areas present in Hamdoun river basin's meskat system (Sousse, Tunisia)". 2nd ICIEM 2016, october 27-30, *International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development*.
- BEN SALEM, A., MAJDOUB, R., M'SADAK, Y. Y KHLIFI, 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), pp. 396-400.
- BENHAMROUCHE, A. (2014): "Análisis de la concentración diaria de la precipitación en la Cuenca del Mediterráneo Occidental". Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, Barcelona, 155 pp.
- BENOIT, R., DESGAGNÉ, M., PELLERIN, P., PELLERIN, S., CHARTIER, Y. Y DESJARDINS, S. (1997): "The Canadian MC2: A semi-Lagrangian, semi-implicit wideband atmospheric model suited for finescale process studies and simulation". *Monthly Weather Review*, 125(10), pp. 2.382-2.415.
- BERGKAMP, G., CAMMERAAT, L.H. Y MARTÍNEZ, J. (1996): "Water movement and vegetation patterns on shrubland and an abandoned field in two desertification threatened areas in Spain". *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, pp 1.073-1.090.
- BERNABÉ MAESTRE, J.M. (1989): "Obras hidráulicas tradicionales en el regadío de Petrer (Vall del Vinalopó)". *Bitrir*, 1, pp. 13-33.
- BERNDTSSON, R. (Ed.) (1999): "Proceedings of the international seminar rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas". Lund, 2 de julio de 1998. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, 318 pp.
- BERNDTSSON, R., JEBARI, S., HASHEMI, H. Y WESSELS, J. (2016): "Traditional irrigation techniques in MENA with a focus on Tunisia". *Hydrological Sciences Journal*, 61(7), pp. 1346-1357.
- BERROCAL CAPARRÓS, M.C. (2007): "Sistemas tradicionales de extracción de agua en la pedanía de Galifa". *Revista Murciana de Antropología*, 14, pp. 283-299.
- BESÓ ROS, A. (2010): "Els horts de tarongers: Arquitectura i paisatge". Tesis doctoral. Departament d'Història de l'Art, Universitat de València, València, 458 pp.
- BLANCHEMANCHE, P. (1986): "Les terrasses de culture des régions méditerranéennes: terrassements, épierrement et dérivation des eaux en agriculture: XVIIIe-XIXe siècles: Etude ethnohistorique". Tesis Doctoral. École des hautes études en sciences sociales, Paris, 275 pp.
- BOERS, T.M. Y BEN-ASHER, J. (1982): "A review of rainwater harvesting". *Agricultural water management*, 5(2), pp.145-158.
- BONVALLOT, J. (1979): "Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979". *Les Cahiers de l'ORSTOM, série «Sciences Humaines»*, 16(3), pp. 233-249.
- BONVALLOT, J. (1986): «Tabias et jessour du Sud Tunisien: agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion». *Les Cahiers de l'ORSTOM, série «Pédologie»*, 22(2), pp. 163-171.
- BOUAZIZ, S., BARRIER, E., SOUSSI, M., TURKI, M.M. Y ZOUARI, H. (2002): "Tectonic evolution of the northern African margin in Tunisia from paleostress data and sedimentary record". *Tectonophysics*, 357, pp. 227-253.
- BOX AMORÓS, M. (1992): "El regadío medieval en España: época árabe y conquista cristiana". En: GIL, A. Y MORALES, A., "Hitos históricos de los regadíos españoles". Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid, pp. 49-89.
- BRACKEN, L.J. Y CROKE, J. (2007): "The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems". *Hydrological processes*, 21(13), pp. 1749-1763.
- BRUEGGE, C. J., CONEL, J. E., GREEN, R.O., MARGOLIS, J.S., HOLM, R.G. Y TOON, G. (1992): "Water vapor column abundance retrieval during FIFE". *J. Geophys.Res*, 97, pp. 18.759-18.768.

- BRUINS, H. J., EVENARI, M. Y NESSLER, U. (1986): "Rainwater harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine". *Applied Geography*, 6(1), pp. 13-32.
- BRUNHES, J. (1904): "*L'irrigation, des conditions géographiques, ses modes, son organisation dans la péninsule Ibérique et dans l'Afrique du Nord*". Masson, Paris, 548 pp.
- BUGEAT, L. (1957): "*Conservation des eaux et du sol*". École d'Agriculture Sidi Naceur à Moghrane, Tunis, 57 pp.
- BUTLER, J. (Ed.), PLAYFAIR, I.S.O., MOLONY, C.J.C., FLYNN, F.C. Y GLEAVE T.P. (2004) [1^o HMSO 1966]: "*The Mediterranean and Middle East: IV. The Destruction of the Axis Forces in Africa*". History of the Second World War, United Kingdom Military Series. Naval & Military Press, Uckfield, UK, 556 pp.
- CALATAUYD GINER, S. (1990): "Los inicios de la mecanización en el regadío valenciano, 1850-1930". *Areas. Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 12, 203-211 pp.
- CAMARASA BELMONTE, A.M. (1992): "*Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas, Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo*". Tesis Doctoral. Departament de Geografia, Universitat de València, València, 349 pp.
- CAMARASA BELMONTE, A.M. Y SEGURA BELTRÁN, F. (2001): "Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas". *Estudios Geográficos*, 62(245), pp. 649-674.
- CAMARASA BEMONTE, A.M. Y TILFORD, K.A. (2002): "Rainfall runoff modelling of ephemeral streams in the Valencia region (Eastern Spain)". *Hydrological Processes*, 16(17), pp. 3329-3344.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1987a): "Inundación y avenidas de los ríos del sureste español". *Papeles de Geografía*, Universidad de Murcia, 13, pp. 75-86.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1987b): "Inundaciones y avenidas de los ríos de Almería: una constante secular". *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses. Ciencias*, 7, pp. 25-42.
- CARBONERO, M. A. (1984): "Terrasses per al cultiu irrigat i distribució social de l'aigua a Banyalbufar (Mallorca)". *Documents d'anàlisi Geogràfica*, 4, pp. 31-68.
- CARMONA GONZÁLEZ, P. (1982): "Las terrazas del bajo Turia". *Cuadernos de geografía*, 30, pp. 41-62.
- CARMONA GONZÁLEZ, P. Y RUIZ PÉREZ, J.M. (2000): "Las inundaciones de los ríos Júcar y Turia". *Serie Geográfica*, 9, pp. 49-69.
- CARO BAROJA, J. (1954): "Norias, azudas, aceñas". *Revista de dialectología y tradiciones populares*, 10, pp. 29-160.
- CARO BAROJA, J. (1983): "*Tecnología popular española*". Editora Nacional, Madrid, 597 pp.
- CASTELLTORT AIGUABELLA, F.X., BALASCH SOLANES, J.C., CIRÉS FORTUNY, J. Y COLOMBO PIÑOL, F. (2016): "Evolución del drenaje en cuencas erosivas durante el Neógeno-Cuaternario. Margen oriental de la Cuenca del Ebro". *Geogaceta*, 60, pp. 51-54.
- CAVANILLES, A.J. (1795): "*Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*". Imprenta Real, Madrid, Vol. I, 237 pp.
- CAVANILLES, A.J. (1797): "*Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*". Imprenta Real, Madrid, Vol. II, 338 pp.
- CENTRE NATIONAL DES ÉTUDES AGRICOLES (CNEA) (2008): "Etude d'impact des travaux de conservation des eaux et du sol dans le gouvernorat de Sousse". *Rapport de la première phase, CRDA Sousse Tunisie*, pp. 51-52.
- CHARLES, S.P., BATES, B.C., SMITH, I.N. Y HUGHES, J.P. (2004): "Statistical downscaling of daily precipitation from observed and modeled atmospheric fields." *Hydrological Processes*, 18, pp. 1373-1394.
- CLAVERO PARICIO, P.L. (1977): "*Los climas de la región valenciana*". Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Departamento de Geografía, Barcelona, 548 pp.
- CLAVERO PARICIO, P.L. (1994): "Tipus de clima". En: PÉREZ CUEVA, A.J. (Coord.), "*Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana (1961-1990)*". Generalitat Valenciana, Conselleria de Obras Públiques, Urbanismo y Transporte, València, pp. 118-121.

- COSTA, M. (1982): "Pisos bioclimáticos y series de vegetación en el área Valenciana". *Cuadernos de Geografía de la Universidad de Valencia*, 31, pp. 129-142.
- CÔTE, M. (1964): "La conservation des sols et des eaux en Tunisie". *Méditerranée*, 5(3), pp. 219-242.
- 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, Almería, pp. 51-72.
- CRUZ GARCÍA, O. (1989): "Norias de tradición mudéjar en las salinas de Imón (Guadalajara)". *Revista de Folklore*, 107, pp. 147-166.
- CUADRAT, J.M., SAZ, M.A. Y VICENTE-SERRANO, S.M. (2007): "*Atlas Climático de Aragón*". Gobierno de Aragón, Zaragoza, 229 pp.
- CUDENNEC, C., LEDUC, C. Y KOUTSOYIANNIS, D. (2007): "Dryland hydrology in Mediterranean regions — a review". *Hydrological Sciences Journal*, 52(6), pp. 1077-1087.
- CUSTODIO, E. (1986): "*Recarga artificial de acuíferos*". Boletín de Informaciones y Estudios, 45, Servicio Geológico, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU), Madrid, 148 pp.
- DE EPALZA, M. (1992): "*Los moriscos antes y después de la expulsión*". Edit. Mapfre, Madrid, 181 pp.
- DE LA ORDEN GÓMEZ, J.A., LÓPEZ-GETA, J.A. Y MURILLO, J.M. (2003): "Experiencias de Recarga Artificial de acuíferos realizadas por el IGME en acuíferos detríticos". *Boletín Geológico y Minero* 114(2), pp. 203-212.
- DESPOIS, J. (1949): "*L'Afrique blanche française. tome I. Afrique du Nord*". Presses Universitaires de France, Paris, 624 pp.
- DESPOIS, J. (1955): "*La Tunisie Orientale. Sahel et Basse Steppe. Étude Géographique*". Publications de l'Institut des Hautes Études de Tunis. Presses Universitaires de France, Paris, 554 pp.
- DESPOIS, J. (1959): "Le djebel Ousselat, les Ousseltiya et les Kooub". Faculté des lettres et sciences humaines, *Cahiers de Tunisie*, 7(28), pp. 407-427.
- DIAS, J. Y GALHANO, F. (1953): "*Aparelhos de elevar a água de rega: contribuição para o estudo do regadio em Portugal*". Junta de Província do Douro-Litoral, Porto, Portugal, 261 pp.
- DIZ, E., GARCÍA, A. Y GEA CALATAYUD, M. (1986): "Norias, cenias, bombillos y otros aparatos elevadores de agua en el Bajo Segura". En Ayudas a la Investigación 1984-1985, Vol. II, *Arte, Arqueología y Etnología*. Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert", Alicante, 180 pp.
- DOGLIONI, C., FERNÁNDEZ, M., GUEGUEN, E. Y SÁBAT, F. (1999): "On the interference between the early Apennines-Maghrebides backarc extension and the Alps-Betics orogen in the Neogene Geodynamics of the Western Mediterranean". *Bollettino Società Geologica Italiana*, 118, pp. 75-90.
- DURAND-DELGA, M. Y FONTBOTÉ, J.M. (1980): "Le cadre structural de la Méditerranée occidentale". En: AUDOUIN, J., DEBELMAS, J. Y LATREILLE, M. (Eds.), "*Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys*", Colloque n°5, 26^{ème} Congrès Géologique International. Mem. B.R.G.M., Paris, pp. 67-85.
- EL AMAMI, S. (1977): "Traditional technologies and development of the African environments; utilisation of runoff waters: the meskats and other techniques in Tunisia". *African Environment*, 3, pp.107-120.
- EL AMAMI, S. (1983): "Changing concepts of water managements in Tunisia". *Impact of Science on Society*, 1, pp. 57-64.
- EL AMAMI, S. (1984): "*Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie*". Traduit de l'Arabe. CRGR, Tunis, 69 pp.
- EL AMAMI, S. Y CHAABOUNI, Z. (1981): "*Traditional hydraulic reshaping, a means of controlling water erosion*". Research Center of Rural Engineering, Tunis.
- EL AMRI, A., ANANE, M., SRASRA, M. Y DRIDI, L. (2016): "Mapping of vulnerability to pollution of Oued Laya phreatic aquifer", 2^o ICIEM 2016, october 27-30, *International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development*, Sousse, Tunisie.
- EL MELKI, T. (2008): "Pluie annuelle et apports des flux atmosphériques", pp 16-17. En: HENIA, L. (Dir.) "*Atlas de l'eau en Tunisie*". Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT", Tunis, 186 pp.

- EL MELKI, T. Y CHARABI, Y. (2008): "Température annuelle moyenne (Normale 1961-1990)", pp. 32-33. En: HENIA, L. (Dir.) "Atlas de l'eau en Tunisie". Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT", Tunis, 186 pp.
- EL OUARDI, H. (2002): "Origine des variations latérales des dépôts yprésiens dans la zone des dômes en Tunisie septentrionale". *Comptes Rendus Geoscience*, 334(2), pp. 141-146.
- ENNABLI, N. (1993): "Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles en Tunisie". Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, 255 pp.
- ESTRELA NAVARRO, M. J. (1986): "Terrazas y glacis del Palancia medio". *Cuadernos de Geografía de la Universidad de Valencia*, 38, pp. 93-108.
- ESTRELA NAVARRO, M.J. (1986): "Terrazas y glacis del Palancia medio". *Cuadernos de geografía*, 38, pp. 93-108.
- FALKENMARK, M., FOX, P., PERSSON, G. Y ROCKSTROM, J. (2001): "Water harvesting for upgrading of rainfed agriculture: problems analysis and research needs". Stockholm, International Water Institute, 94 pp.
- FANSA, G., ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M. Y 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, pp. 293-317.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M. Y VILLARROYA GIL, F. (2006): "Las acequias de careo, un dispositivo pionero de recarga artificial de acuíferos en Sierra Nevada, España Caracterización e inventario". *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, 4, pp. 1-33.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E. (2002): "La recarga artificial en la cubeta de Santiuste (Segovia). Estudio de las condiciones de referencia, funcionamiento hidrogeológico y aspectos medioambientales relacionados". Trabajo para el título de Estudios Avanzados (DEA). Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, UCM, Madrid.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E. (2004): "Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la cubeta de Santiuste (Segovia)". Tesis Doctoral, Tres tomos. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M. Y VILLARROYA GIL, F. (2005a): "Proposal for a system of environmental indicators to monitor and control artificial recharge operations based on case studies". *ISMAR Vº International Symposium. Management Aquifer Recharge. Proceedings*, Berlin.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M. Y VILLARROYA GIL, F. (2005b): "Proposal of a new classification of wetlands susceptible to recovery by means of artificial recharge aquifer techniques. Application to the Coca-Olmedo wetland complex. Duero basin, (Spain)". *ISMAR Vº International Symposium. Management Aquifer Recharge. Proceedings*, Berlin.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, E. (2012): "Gestión de la recarga de acuíferos como práctica alternativa de gestión hídrica". Proyecto DINA-MAR. 33 pp.
- FERRER POLO, L. (2003): "Metodologías de análisis estadístico de máximas lluvias: el modelo SQRT-ET MAX". En: PÉREZ CUEVA, A.J., LÓPEZ BAEZA, E. Y TAMAYO, J., "En memoria de D. Antonio López Gómez". Valencia, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología Serie B, pp. 61-90.
- FITZJOHN, C., TERNAN, J.L. Y WILLIAMS, A.G. (1998): "Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control". *Catena*, 32, pp. 50-70.
- FLESKENS, L., STROOSNIJDER, L., OUESSAR, M. Y DE GRAAFF, J. (2005): "Evaluation of the on-site impact of water harvesting in southern Tunisia". *Journal of Arid Environments*, 62(4), pp. 613-630.
- FOURATI, M., LAHMAR R., KHLIFI, S. Y MAJDOUB, R. (2016b): "Inventaire et diagnostic des aménagements antiérosifs dans le bassin versant d'Oued laya el hammam". *Journées scientifiques de la Medjerda*, 9 & 10 Novembre 2016.
- FOURATI, M., MAJDOUB, R., KHLIFI, S. Y BOUJNAH, D. (2016a): "Inventory and characterization of the Meskat system as runoff harvesting practice in Tunisian Sahel". En: "Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), 2016 2nd International Conference on". IEEE, 28 July 2016, pp. 616-621.

- GAFSI, A.H. (1988): "La noria en Túnez en los siglos XVII y XIX." Organización Árabe para la Educación, Cultura y la Ciencia, pp. 201-219.
- GARCÍA HERNÁN, O. (1997): "Investigaciones y ensayos experimentales de la recarga artificial de acuíferos detríticos con baja permeabilidad. Lebrija (Sevilla)". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, UCM, Madrid.
- GARCÍA MAYORDOMO, J. Y MARTÍNEZ DÍAZ, J. (2006): "Caracterización sísmica del anticlinorio del Bajo Segura (Alicante): Fallas del Bajo Segura, Torrevieja y San Miguel de Salinas". *Geogaceta*, 40, pp. 19-22.
- GARCÍA-CASTELLANOS, D., VERGÉS, J., GASPAR-ESCRIBANO, J. Y CLOETINGH, S. (2003): "Interplay between tectonics, climate, and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia)". *Journal of Geophysical Research*, 108, p. 2347.
- GHARBI, M. (2016): "Etudes des crues et du transport sédimentaire associé-Application au bassin versant de la Medjerda". Tesis Doctoral. Sciences de l'Univers de l'Environnement et de l'Espace, Université de Toulouse, Toulouse, 164 pp.
- GIL MESEGUER, E. (1988): "El papel de las pequeñas áreas vertientes en las inundaciones de la Huerta de Murcia: las Ramblas del Garruchal y Los Romos tras las precipitaciones del 4 de noviembre de 1987". *Papeles de Geografía*, 14, pp. 167-183.
- GIL MESEGUER, E., LÓPEZ FERNÁNDEZ, J.A. Y GÓMEZ ESPÍN, J.M. (2015): "Regadíos de turbias y secanos asistidos en el Sureste de España. El sistema de azud de Guadalupe o presa de derivación de avenidas de la rambla del Zoco (Murcia)". *Revista Murciana de Antropología*, 22, pp. 161-176.
- GIL MESEGUER, E.; MARTÍNEZ MEDINA, R. Y 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*, Universidad de Barcelona, 15(374), pp. 348-386.
- GIL OLCINA, A. (1971): "El Campo de Lorca: Estudio de Geografía Agraria". Universidad de Valencia, Dpto. de Geografía e Instituto "Juan Sebastián Elcano" (C.S.I.C.), Valencia, 207 pp.
- GIL OLCINA, A. (1983): "Lluvias excepcionales en la noche del 19 al 20 de octubre de 1982 y riada en el barranco de las Ovejas", pp. 5-24. En: GIL OLCINA, J. ET AL. (Ed.), "Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante", 128 pp.
- GIL OLCINA, A. (1993): "La propiedad de aguas perennes en el Sureste Ibérico". Universidad de Alicante, Alicante, 191 pp.
- GIL OLCINA, A. (2016): "Acondicionamiento, rectificación y regulación del Segura: modificación de lechos, cuenca y régimen fluvial". Universidad de Alicante, Alicante, 328 pp.
- GIL OLCINA, A. (Dir.) (1986): "Inundaciones en la ciudad y Término de Alicante". Universidad de Alicante y Ayuntamiento de Alicante, Alicante, 179 pp.
- GILMAN, A. Y THORNES, J.B. (1985): "Land-use and prehistory in Southeast Spain". The London Research Series in Geography. George Allen & Unwin, London, 217 pp.
- GIMÉNEZ FONT, P. (2008): "Las transformaciones del paisaje valenciano en el siglo XVIII. Una perspectiva geográfica". Institució Alfons el Magnànim, Diputació de València, València, 456 pp.
- GIMÉNEZ FONT, P. Y HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, M. (2010): "Origen y evolución del paisaje de la citricultura en el sureste de la Península Ibérica". En: LECO, F. (Coord.), "Actas del XV Coloquio de Geografía Rural: Territorio, paisaje y patrimonio rural". Cáceres, 28 a 30 de abril de 2010. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones, pp.167-177.
- GIRÁLDEZ, J.V., AYUSO, J.L., GARCÍA, A., LÓPEZ, J.G. Y ROLDÁN, J. (1988): "Water harvesting strategies in the semiarid climate of southeastern Spain". *Agricultural water management*, 14(1-4), pp.253-263.
- GIRALT I RAVENTÓS, E. Y SALRACH I MARÉS, J.M. (2004): "Història agrària dels països catalans". Vol. 2. Universidad Autònoma de Barcelona, Barcelona, 602 pp.
- GLICK, T.F. (1992): "Tecnología, ciencia y cultura en la España medieval". Traducción de Navarro Brotóns. Alianza Editorial, Madrid, 167 pp.
- GÓMEZ ESPÍN, J.M. (1999): "Agua y medio ambiente en la cuenca del Segura". *Papeles de Geografía*, 29, pp. 95-110.

- GÓMEZ ESPÍN, J.M., GIL MESEGUER, E. (1993): "Galerías con lumbreras en el sureste de España". Universidad de Murcia. *Papeles de geografía*, 19, pp. 125-145.
- GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, M.I. Y 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, 884 pp.
- GONZÁLEZ MÁRQUEZ, J. (2006): "Climatología de tormentas en España". *Meteored y Divulgameteo*, 57 pp. <http://www.divulgameteo.es/uploads/Climatolog%C3%ADa-tormentas.pdf>
- GROVE, A.T. Y RACKHAM, O. (2001): "*The Nature of Mediterranean Europe – An Ecological History*". Yale University Press, London, UK, 384 pp.
- GUERRERA, F., MARTÍN-ALGARRA, A. Y PERRONE, V. (1993): "Late Oligocene-Miocene syn-/late-orogenic successions in Western and Central Mediterranean Chains from the Betic Cordillera to the Southern Apennines". *Terra Nova*, 5(6), pp. 525-544.
- GUIGO, M. (1973): "Pluie et crue des 7 et 8 octobre 1970 dans la région gènoise". *Méditerranée*, 12(1), pp. 55-80.
- HENIA, L. (2008): "Les regiones climatiques", pp. 48-49. En: HENIA, L. (Dir.) "*Atlas de l'eau en Tunisie*". Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT", Tunis, 186 pp.
- HENIA, L. (Dir.) (2008): "*Atlas de l'eau en Tunisie*". Unité de Recherche "GREVACHOT", Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Université de Tunis, 186 pp.
- HENIA, L. Y OMRANE, M. (2008): "Relief", pp. 14-15. En: HENIA, L. (Dir.) "*Atlas de l'eau en Tunisie*". Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT", Tunis, 186 pp.
- HERMOSILLA PLA, J. (Dir.) (2005): "*El regadío histórico en la comarca de Requena-Utiel. Geografía y Patrimonio*". Colección Regadíos Históricos Valencianos, nº.4, Valencia, 231 pp.
- 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, 226 pp.
- HERMOSILLA PLA, J. (Dir.) (2006): "*Las Riberas del Xúquer: paisajes y patrimonio valenciano*". Colección Regadíos Históricos Valencianos, nº 7, Universitat de València, València, 448 pp.
- HERMOSILLA PLA, J. (Dir.) (2008): "*Las galerías drenantes en España. Análisis y selección de qanat(s)*". Colección Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad, 2. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 269 pp.
- HERMOSILLA PLA, J. (Dir.): (2015): "*Los regadíos tradicionales de la Marina Baixa: La cuenca del Río Amadorio*". Universitat de València, València, 256 pp.
- HERMOSILLA PLA, J., ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M. Y FANSA, G. (2012): "La galería de Bir-El Adine, Kairouan", pp. 127-137. En: HERMOSILLA PLA, J., MOUSSA, M., REJEB, H., ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M., FANSA, G., ABASSI, M., BEN HAJ, K., HALLOUL, S., SAYARI, N. E IRANZO GARCÍA, E.: "*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, València, 252 pp.
- HERMOSILLA PLA, J., ANTEQUERA, M. Y FANSA, G. (2013): "Las galerías drenantes del sector centro occidental de Túnez", pp. 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, València, 308 pp.
- HERMOSILLA PLA, J., IRANZO GARCÍA, E., PASCUAL AGUILAR, J.A., ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (2004): "Las galerías drenantes de la provincia de Almería: análisis y clasificación topológica". *Cuadernos de Geografía* 76, Universidad de Valencia, Valencia, pp. 125-154.
- HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, M. (1996): "*Los espacios agrarios tradicionales de la provincia de Alicante: evolución e impactos ambientales*". Tesis doctoral. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, Alicante, 742 pp.
- HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, M. Y MORALES GIL, A. (2013): "Los aprovechamientos tradicionales de las aguas de turbias en los piedemontes del Sureste de la Península Ibérica: estado actual en tierras alicantinas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 63, pp.105-123.

- HEZZI, I. (2014): "*Caractérisation géophysique de la plateforme de Sahel, Tunisie nord-orientale et ses conséquences géodynamiques*". Tesis Doctoral. Université Renne, Renne, 315 pp.
- HLAOU, Z. (2008): "Pluies journaliers maximales selon différentes périodes de retour", pp. 24-25. En: HENIA, L. (Dir.) "*Atlas de l'eau en Tunisie*". Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT", Tunis, 186 pp.
- HMSO (1962): "*Weather in the Mediterranean I*". General Meteorology, London, 362 pp.
- 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), 418 pp.
- HUIBERS, F.P. (1985): "*Rainfed Agriculture in a Semi-Arid Tropical Climate: Aspects of Land and Water Management for Red Soils in India*". Tesis Doctoral. Agriculture University of Wageningen, Netherland, 193 pp.
- I.T.G.E. Y JUNTA DE ANDALUCÍA (1998): "*Atlas Hidrogeológico de Andalucía*". Instituto Tecnológico Geominero de España y Junta de Andalucía. Madrid, 216 pp.
- IGME (1974): "*Mapa geológico de Sagunto, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 28 pp.
- IGME (1975a): "*Mapa geológico de Macael, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 43 pp.
- IGME (1975b): "*Mapa geológico de Vera, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 42 pp.
- IGME (1976): "*Mapa geológico Alcira-Levesa, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 31 pp.
- IGME (1978): "*Mapa geológico de Elda, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 64 pp.
- IGME (1981): "*Mapa geológico de Alcalá de la Selva, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 32 pp.
- IGME (2004): "*Mapa geomorfológico de España. Hoja 934(27-34), Murcia. Escala 1:50.000*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 180 pp.
- IGME (2005): "*Mapa geológico de Longares, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 97 pp.
- IGME (2006): "*Mapa geológico de Pina de Ebro, escala 1:50.000, serie MAGNA*". Instituto Geológico y Minero de España, Servicio de Publicaciones, Ministerio de Industria, Madrid, 94 pp.
- INRST (1985): "*Carte géologique de Oued Zarga, n° 26, échelle 1/50.000*". Institut National de Recherche Scientifique et Service Géologique National d'Office Nationale de Mines de la Tunisie, Tunis.
- INRST (1987): "*Carte géologique de Matmata, échelle 1/100.000*". Institut National de Recherche Scientifique et Service Géologique National d'Office Nationale de Mines de la Tunisie, Tunis, 91 pp.
- INRST (1991): "*Carte géologique de El Ayacha, échelle 1/100.000*". Institut National de Recherche Scientifique et Service Géologique National d'Office Nationale de Mines de la Tunisie, Tunis.
- JANSA CLAR, A., GENOVÉS NAVARRO, A. Y GARCIA-MOYA, J.A. (2000): "Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 1: Numerical experiment concerning the Piedmont flood case". *Meteorological Applications*, 7(4), pp. 323-333.
- JAUBERT DE PASSA, F (1844): "*Canales de riego de Cataluña y el Reino de Valencia, Leyes y costumbres que los rigen: reglamentos y ordenanzas de sus principales acequias*". Valencia, Tomo I, Ed. Sociedad Económica de Amigos del País, 536 pp.
- JEBARI, S., BERNDTSSON, R. Y BAHRI, A. (2015): "Challenges of traditional rainwater harvesting systems in Tunisia". *Middle East Critique*, 24(3), pp. 289-306.
- KASPAR, M. Y MÜLLER, M. (2009): "Cyclogenesis in the Mediterranean basin: a diagnosis using synoptic-dynamic anomalies". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(3), pp. 957-965.

- KOBORI, I. (1976): "Notes on Foggara in the Algerian Sahara". *Bulletin of Department of Geography University of Tokyo*, 8, pp. 41-55.
- KOKKONEN, T., KOIVUSALO, H., KARVONEN, T., CROKE, B. Y JAKEMAN, A. (2004): "Exploring streamflow response to effective rainfall across event magnitud scale". *Hydrological Processes*, 18, pp. 1.467-1.486.
- KOULOURI, M. Y GIOURGA, C. (2007): "Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terraced lands". *Catena*, 69(3), pp. 274-281.
- LA ROCA CERVIGÓN, N. Y CARMONA GONZÁLEZ, P. (1983): "Fotointerpretación de la Ribera del Xúquer después de la inundación de 1982". *Cuadernos de Geografía*, 32-33, pp. 121-134.
- LASANTA, T., NADAL ROMERO, E., SERRANO MUELA, P., VICENTE, S.M. Y GARCÍA RUIZ, J.M. (2010): "Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la Estación Experimental "Valle de Aísa". *Pirineos*, 165, pp. 115-133.
- LAUREANO, P. (2005): "*Atlas del agua: los conocimientos tradicionales para combatir la desertificación*". Barcelona UNESCO, Laia Libros, 439 pp.
- LEBEAU, R. (1983): "*Grandes modelos de estructuras agrarias en el mundo*". Traducción de Cristina Gatell, Ed. Vicens-Vives, Barcelona, 178 pp.
- LEBEAUPIN, C., DUCROCQ, V. Y GIORDANI, H. (2006): "Sensitivity of torrential rain events to the sea surface temperature based on high-resolution numerical forecasts". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D12), 1-19 pp.
- LONERGAN, L. Y WHITE, N. (1997): "Origin of the Betic-Rif mountain belt". *Tectonics*, 16(3), pp. 504-522.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2014): "El riego por boquera en agricultura de secano, técnica hidráulica tradicional de lucha contra la desertificación en el sureste ibérico semiárido", pp. 405-414. En: "*Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*". Instituto Pirenaico de Ecología, 479 pp.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1974): "El origen de los riegos valencianos. Los canales romanos". *Cuadernos de Geografía*, 15, pp. 1-24.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1983): "Las lluvias catastróficas mediterráneas". *Estudios Geográficos*, 44(170-171), pp. 11-30.
- LÓPEZ GÓMEZ, J.F. Y CIFUENTES VÉLEZ, E. (2001): "Molinos, aljibes y norias: la cultura del paisaje en el Cabo de Gata". *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 37, pp. 192-199.
- LÓPEZ RUIZ, J., CEBRIÁ, J. M. Y DOBLAS, M. (2002): "Cenozoic volcanism I: the Iberian peninsula". En: Gibbons, W. y Moreno, T. (Eds.), "*The Geology of Spain*". Geological Society of London, London, pp 417-438.
- LÓPEZ-GETA, J.A., FORNÉS AZCOITI, J.M., RAMOS GONZÁLEZ, G. Y VILLARROYA GIL, F. (2001): "*Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo*". Fundación Marcelino Botín, IGME, Madrid, 94 pp.
- LOZANO TENA, M.V. (1983): "Estudio geomorfológico de la depresión El Pobo-Cedrillas (Provincia de Teruel)". *Teruel: Revista del Instituto de Estudios Turolenses*, 69, Teruel, pp. 109-210.
- MAJDOUB, R., BOUAZIZ, R., M'SADAK, Y., FOURATI, M. Y 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), pp. 218-227.
- MARGAT J. (2008): "*L'eau des Méditerranéens: situation et perspectives*". Collection Prospective Plan Bleu. Paris, L'Harmattan, 288 pp.
- MARTÍ, R. (1989): "Oriente y occidente en las tradiciones hidráulicas medievales", pp. 419-440. En: CARA BARRIONUEVO, L. (Coord.) "*El agua en zonas áridas. Arqueología e historia. Hidráulica tradicional de la provincia de Almería*". Instituto de Estudios Almerienses, Almería, 2.109 pp.
- MARTÍN ALGARRA, A. Y VERA, J.A. (2004): "La Cordillera Bética y las Baleares en el contexto del Mediterráneo Occidental", pp. 352-354. En: VERA, J.A. (Ed.), "*Geología de España*". Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 884 pp.
- MARTÍN LEÓN, F., ELIZAGA RODRÍGUEZ, F., CARRETERO PORRIS, O. Y SAN AMBROSIO BEIRÁN, I. (2001): "*Diagnóstico y predicción de la convección profunda*". Nota Técnica del STAP, 35, INM, Madrid, 173 pp.

- MARTÍN LEÓN, J. (1988): *"Almería: paisajes agrarios. Espacio y sociedad"*. Universidad de Valladolid, Valladolid, 499 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (1987): *"Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica"*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, 245 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (1994): "Máximas diarias probables e irregularidad", pp. 94-96. En: PÉREZ CUEVA, A.J. (Coord.), *"Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)"*. Generalitat Valenciana, Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, València, 205 pp.
- MARTÍN VIDE, J. Y LLASAT BOTIJA, C. (2000): "Las precipitaciones torrenciales en Cataluña". *Serie Geográfica*, 9, pp. 17-26.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES, A. (1996): *"Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal"*. MundiPrensa, Madrid, 247 pp.
- MARTÍNEZ MENA, M., ALBALADEJO, J. Y CASTILLO, V.M. (1998): "Factors influencing surface runoff generation in a Mediterranean semi-arid environment: Chicamo watershed, SE Spain". *Hydrological Processes*, 12, pp.741-754.
- MARTONNE, E. DE (1909): *"Traité de géographie physique"*, Paris, Armand Colin, 1, 520 pp.
- MATA OLMO, R. Y FERNÁNDEZ MUÑOZ, S. (2010): "Paisajes y patrimonios culturales del agua. La salvaguarda del valor patrimonial de los regadíos tradicionales". *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 14(337), <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-337.htm>.
- MATARREDONA, R., PÉREZ CUEVA, A.J. Y SANCHIS MOLL, E.J. (1988): "Los ríos valencianos y su régimen", pp. 103-134. En: SANCHIS MOLL, E.J. (Dir.), *"Guía de la naturaleza de la Comunidad Valenciana"*. Edicions Alfons el Magnànim, Valencia, 662 pp.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1980): "El llano de inundación del Xúquer (País Valenciano): geometría y repercusiones morfológicas y paisajísticas". *Cuadernos de Geografía*, 27, pp.121-142.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1982): *"El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral"*. Universidad de Valencia, Valencia, 286 pp.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1983a): "La ciència i la tècnica davant les revingudes del Xúquer (1635-1905): Notes preliminars". *Cuadernos de Geografía*, 32-33, pp. 243-264.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1983b). "Aluvionamiento medieval y moderno en el llano de la inundación del Júcar". *Cuadernos de Geografía*, 32-33, pp. 291-310.
- MATLOCK, W. G. Y DUTT, G. R. (1986): *"A primer on water harvesting and runoff farming"*. Agricultural Engineering Department, University of Arizona, USA.
- MEERKERK, A.L., VAN WESEMAEL, B. Y BELLIN, N. (2009): "Application of connectivity theory to model the impact of terrace failure on runoff in semi-arid catchments". *Hydrological Processes*, 23(19), pp. 2.792-2.803.
- MEHDOUANI, M. (2003): "Note sur l'importance de l'érosion hydrique dans les collines des environs de Sousse". *Revue tunisienne de géographie*, 36, pp. 89-99.
- MEKDaschi, R. Y LINIGER, H. (2013): *"La collecte de l'eau: directives pour de bonnes pratiques"*. Centre for Development and Environment, Geographica Bernensia, Berna, 194 pp.
- MEYER, C. (1958): "Puisage d'eau en Afrique du Nord". *La Houille Blanche*, 2, pp. 180-184.
- MMA (2000): *"Libro blanco del Agua en España"*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ed. Centro de Publicaciones, Secretaría general Técnica y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 637.
- MONDÉJAR SÁNCHEZ, J.M. (2009): *"El riego de boqueras: una técnica hidráulica para la gestión ambiental de territorios semiáridos y lucha contra la desertificación. Aprovechamientos tradicionales de aguas de escorrentía en las cuencas de la comarca de l'Alacantí"*. Tesis Doctoral. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, Alicante, 519 pp.
- MONGIL MANSO, J. (2004): *"Desarrollo y aplicación de una metodología destinada al dimensionado de sistemas de recolección de agua para la restauración forestal en zonas áridas"*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Universidad de Valladolid, Valladolid, 381 pp.

- MONGIL MANSO, J. (2008): "Conservación de suelos y restauración de la vegetación mediante técnicas tradicionales de recolección de agua". *9º Congreso Nacional del Medio Ambiente*, Cumbre del Desarrollo Sostenible. Palacio Municipal de Congresos del Campo de Las Naciones, Madrid, 15 pp.
- MONSERRAT RECODER, P. (2000): "El sisallar, su pasado, presente y futuro. Escorrentías salobres en las vales aragoneses y uso ganadero de las tierras marginales". En: *Actas del Congreso de Botánica en homenaje a Francisco Loscos (1823-1886)*, Instituto de Estudios Turolenses, pp. 483-496.
- MONTANER SALAS, E. (2004): "Aceñas y molinos de arcabuces en el paisaje del Campo de Cartagena". *Revista Murciana de Antropología*, 10, pp. 121-128.
- MORALES GIL, A. (1969): "El riego con aguas de avenida en las laderas subáridas". *Papeles del Departamento de Geografía*, Universidad de Murcia, 1, pp. 167-183.
- MORALES GIL, A. Y BOX AMORÓS, M. (1986): "El aprovechamiento del agua y los suelos en un dominio semiárido: la cuenca del barranco Blanco. Agost. (Alicante)". *Investigaciones geográficas*, 4, pp. 7-24.
- MORALES GIL, A., BOX AMORÓS, M. Y MARCO MEDINA, J.A. (1989): "El aprovechamiento de las aguas de avenida: Derecho consuetudinario y disposiciones legales", pp. 553-563. En: GIL OLCINA, A. Y MORALES GIL, A. (Dir.), *"Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo"*. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. Caja de Ahorros del Mediterráneo, 581 pp.
- MORELL CUEVAS, J. (2001): "El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia". *Geographicalia*, 40, pp. 47-74.
- MORELL CUEVAS, J. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (2000): "Volúmenes hídricos de las precipitaciones intensas en la CHJ". *Cuadernos de Geografía*, 67-68, pp. 261-275.
- MORENO MICOL, J.A. (2015): "La Huerta de Murcia. Propuestas y acciones para su conservación desde la movilización ciudadana". *e-rph: Revista electrónica de Patrimonio Histórico*, 9, pp. 111-123.
- MORGENSTERN, O. Y DAVIES, H.V. (1997): "Dynamics of a Severe Mesoscale Precipitation Event in the Alpine Region: a PV Perspective", pp. 441-446. *Simposio internacional INM/OMM sobre ciclones y tiempo adverso en el Mediterráneo*. Palma de Mallorca, Ministerio de Medio Ambiente, 841 pp.
- MOROTE SEGUIDO, A.F. (2013): "El aprovechamiento de turbias en San Vicente del Raspeig (Alicante) como ejemplo de sistema de riego tradicional y sostenible". *Investigaciones geográficas*, 59, pp. 147-169.
- MOSTAFAEIPOUR, A. (2010): "Historical background, productivity and technical issues of qanats". *Water history*, 2(1), pp. 61-80.
- MOUSSA, M. (2007): "*Estudio Edafológico de la Cuenca del Ségui (Mareth-sur de Túnez), bases para mejorar los usos del suelo*". Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Almería, Almería, 296 pp.
- MUÑOZ MUÑOZ, J.A. (2000): "Cultura del agua: Aprovechamiento hidráulico integral en un entorno tradicional de extrema aridez: Campos de Níjar (Almería)". *Narría: Estudios de artes y costumbres populares*, 89, pp. 12-21.
- MUÑOZ PALAO, F.M. (1918): "La política agraria. Aprovechamiento de las aguas turbias". *El liberal*, Murcia.
- MURILLO DÍAZ, J.M. (2000): "Recarga artificial de acuíferos o como introducir y almacenar agua en los acuíferos". *Terralía: revista independiente del medio rural*, 4(15), pp. 39-44.
- MURILLO DÍAZ, J.M., DE LA ORDEN GÓMEZ, J.A. Y RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, L. (2001): "*La recarga artificial como técnica de recuperación de acuíferos contaminados. Aplicación a la plana de Vergel (Alicante)*". Instituto Geológico y Minero de España.
- MUSSO, J. (1847): "*Historia de los riegos de Lorca, de los ríos Castril y Guardal, o del Canal de Murcia y de los Ojos de Archivel*". Murcia, 233 pp.
- MYERS, L.E. (1967): "Recent advances in water harvesting". *Journal of Soil & Water Conservation*, 22(3), pp. 95-97.
- MYERS, L.E. (1975): "*Water harvesting 2000 B.C. to 1974 A.D.*". Water Harvesting Symposium, Phoenix, AZ, ARS W-22, USDA, pp. 1-7.
- NASA, METI, AIST, JAPAN SPACESYSTEMS Y U.S./JAPAN ASTER SCIENCE TEAM (2009): "*ASTER Global Digital Elevation Model*". NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/ASTER/ASTGTM.002

- NASR, M. (1999): "Assessing desertification and water harvesting in the Middle East and North Africa: Policy implications". ZEF Discussion Papers on Development Policy, Nº10. Zentrum für Entwicklungsforschung, Bonn, Germany, 59 pp.
- NASRI, S., ALBERGEL, J., CUDENNEC, C. Y BERNDTSSON, R. (2004): "Hydrological processes in macrocatchment water harvesting in the arid region of Tunisia: the traditional system of tabias/Processus hydrologiques au sein d'un aménagement de collecte des eaux dans la région aride tunisienne: le système traditionnel des tabias". *Hydrological Sciences Journal*, 49(2), pp.261-272.
- NAVARRO, C. (1969): "Problemas agrarios en un sector de clima semiárido: el campo de Águilas". *Revista de Geografía*, 2(1) pp.5-39.
- NAZOU MOU, Y. (2002): "Impact des barrages sur la recharge des nappes en zone aride: étude par modélisation numérique sur le cas de Kairouan (Tunisie centrale)". Tesis Doctoral. Université de Tunis, El Manar, 221 pp.
- NAZOU MOU, Y. Y BESBES, M. (2000): "Simulation de la recharge artificielle de nappe en oued par un modèle à réservoirs". *Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science*, 13(4), pp.379-404.
- NAZOU MOU, Y. Y BESBES, M. (2001): "Estimation de la recharge et modélisation de nappe en zone aride: cas de la nappe de Kairouan, Tunisie". *Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics*, pp.75-88.
- OLCINA CANTOS, J. Y RICO AMORÓS, A. M. (2000): "Estudios sobre lluvias torrenciales e inundaciones en la provincia de Alicante (1982-1999)". *Serie Geográfica*, 9, pp. 71-92.
- OMRANI, N. Y OUESSAR, M. (2008): "Historical and contemporary perspectives of water culture in Tunisia". En: EL MOUJABBER, M., SHATANAWI, M., TRISORIO LIUZZI, G., OUESSAR, M., LAUREANO, P. Y RODRIGUEZ, R. (Eds.), "Water Culture and Water Conflict in the Mediterranean Area", Options Méditerranéennes, Séminaires Méditerranéens, 83, CIHEAM-IAMB, Bari, Italy, pp.75-84.
- OUESSAR, M., HESSEL, R., SGHAIER, M. Y RITSEMA, C.J. (2012): "Report on water harvesting inventory history and success stories". 7th Framework programme, WAHARA Project, Scientific Report, Nº5, 19 pp.
- OUESSAR, M., SGHAIER, M., MAHDHI, N., ABDELLI, F., DE GRAAFF, J., CHAIEB, H., YAHYAOU, H. Y GABRIELS, D. (2004): "An integrated approach for impact assessment of water harvesting techniques in dry areas: the case of Oued Oum Zessar watershed (Tunisia)". *Environmental Monitoring and Assessment*, 99(1-3), pp. 127-140.
- OWEIS, T. (1997): "Supplemental Irrigation: A highly Efficient Water-Use Practice". ICARDA, Aleppo, Syria, 16 pp.
- OWEIS, T.Y, HACHUM, A. Y KIJNE, J. (1999): "Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas". SWIM Paper 7, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 41 pp.
- OWEIS, T.Y., HACHUM, A. Y BRUGGEMAN, A. (2004): "The role of indigenous knowledge in improving present water-harvesting practices", pp. 1-20. En: Oweis, T.Y., Hachum, A. y Bruggeman, A. (Eds.), "Indigenous Water-Harvesting Systems in West Asia and North Africa". ICARDA, Aleppo, Syria, 173 pp.
- OWEIS, T.Y., PRINZ, D. Y HACHUM, A.Y. (2012): "Rainwater harvesting for agriculture in the dry areas". CRC Press, 266 pp.
- OWEIS, T.Y., PRINZ, D. Y HACHUM, A. (2001): "Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments". International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 40 pp.
- OWEIS, T.Y. Y HACHUM, A. (2006): "Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa". *Agricultural Water Management*, 80(1-3), pp. 57-73.
- OWEIS, T.Y. Y HACHUM, A. (2009): "Water harvesting for improved rainfed agriculture in the dry environments", pp. 164-181. En: WANI, S.P., ROCKSTRÖM, J. Y OWEIS, T. (Eds.), "Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential". CAB International: London, UK, 310 pp.
- OWEIS, T.Y. Y HACHUM, A.Y. (2003): "Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa", pp. 179-198. En: KIJNE, J.W., BARKER, R. Y MOLDEN, D. (Eds.), "Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement". Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series Nº1, International Water Management Institute, Sri Lanka, 352 pp.

- PAILHÉ, P. (1971): "Caractères morphologiques de la dépression d'El Pobo (Monts Celtibériques orientaux)", *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Toulouse, 42(1), pp. 71-82.
- PAILHÉ, P. (1984): "*La chaîne ibérique orientale. Étude geomorphologique*". Tesis Doctoral. Universidad de Burdeos, III, 682 pp.
- PALANCA GALINDO, J.I. (1999): "Análisis de avenidas del Alto Palancia: Periodo 1960-1990". *Cuadernos de Geografía*, 65-66, pp. 369-374.
- PALERM VIQUEIRA, J. (2004): "Las galerías filtrantes o *qanats* en México: introducción y tipología de técnicas". *Agricultura, sociedad y desarrollo*, julio-diciembre 2004, México, 1(2), pp.133-145.
- PALLARÉS BOU, J. (1994): "Procesos que conducen a la rotura de muros en terrazas de cultivo, (Norte de Castellón)". *Cuaternario y Geomorfología*, 8, pp. 23-36.
- PALLAUT, S.P. Y ROMAGNY, B.I. (2009): "L'eau: quelles politiques dans un espace aride en mutation?", pp. 223-252. En: BONTE, P., ELLOUMI, M., GUILLAUME, H. Y MAHDI, M. (Dirs.), "*Développement rural, environnement et enjeux territoriaux: regards croisés Oriental marocain et Sud-Est tunisien*". Cérés Editions, Tunis, 428 pp.
- PASTOR GUZMÁN, F.J., ESTRELA NAVARRO, M.J., PEÑARROCHA OLTRA, D. Y MILLÁN MUÑOZ, M. (2001): "Torrential rains on the Spanish Mediterranean coast: Modeling the effects of the sea surface temperature". *Journal of Applied Meteorology*, 40(7), pp. 1.180-1.195.
- PAULHUS, J.L.H. (1965): "Indian Ocean and Taiwan rainfalls set new records". *Monthly Weather Review*, 93(5), pp. 331-335.
- PEDRERA, A., GALINDO-ZALDÍVAR, J., SANZ DE GALDEANO, C. Y LÓPEZ-GARRIDO, A.C. (2007): "Fold and fault interactions during the development of an elongated narrow basin: The Almanzora Neogene-Quaternary Corridor (SE Betic Cordillera, Spain)". *Tectonics*, 26(6), 16 pp.
- PENALBA GUILLÉN, J.L. (2017): "*Los casetos de Monteagudo del Castillo*". *Repro-Expres*, Valencia, 178 pp.
- PENALBA GUILLÉN, J.L. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (2013): "*Las Fuentes Y Manantiales de Monteagudo del Castillo*". *Repro-Expres*, Valencia, 248 pp.
- PENALBA GUILLÉN, J.L., PÉREZ CUEVA, A.J. Y FANSA, G. (2012): "Las fuentes de Monteagudo del Castillo (Teruel): Aspectos Hidrogeológicos y características fisicoquímicas de las aguas". *Revista del Instituto de Estudios Turolenses*. Ed. Instituto de Estudios Turolenses, de la Excelentísima Diputación Provincial de Teruel, 94(1), Teruel, pp. 131-172.
- PEÑARROCHA, D. (1994): "Precipitaciones: regímenes estacionales", pp.90-91 En: PÉREZ CUEVA, A.J. (Coord.), "*Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*". Generalitat Valenciana, Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, València, 205 pp.
- PERDOMO MOLINA, A. (2003): "Los sistemas de recolección de aguas de Canarias y el Sudeste Peninsular: semejantes soluciones a problemas comunes". *XII Jornadas de estudios sobre Lanzarote y Fuerteventura*, pp. 51-64.
- PERDOMO MOLINA, A. Y DUPUIS, I. (2004): "Los nateros: un sistema de recolección de agua adaptado a las zonas áridas y montañosas de Canarias". *Tenique: Revista de Cultura Popular Canaria*, 6, pp. 235-251.
- PÉREZ CUEVA, A. J. (1985): "*Geomorfología del sector ibérico valenciano -entre los ríos Mijares y Turia-*". Tesis Doctoral. Universitat de València, València, 653 pp.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (1994): "Los climas de los valles del Turia y del Palancia", pp. 128-131. En: PÉREZ CUEVA, A.J. (Coord.), "*Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*". Generalitat Valenciana, Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, València, 205 pp.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (Coord.) (1994): "*Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*". Generalitat Valenciana, Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, València, 205 pp.
- PÉREZ CUEVA, A.J. Y ANTEQUERA FERNÁNDEZ, M. (2006): "Contextos ambientales de las galerías drenantes en el sureste de la Península Ibérica", pp. 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, 226 pp.

- PÉREZ CUEVA, A.J. Y ARMENGOT SERRANO, R. (1983): "El temporal de octubre de 1982 en el marco de las lluvias torrenciales en la cuenca baja del Júcar". *Cuadernos de Geografía*, 32-33, pp. 61-86.
- PÉREZ CUEVA, A.J. Y CALVO CASES, A. (1984): "Lluvias torrenciales y cambios geomorfológicos en una pequeña cuenca de montaña: el barranco de la Cuesta de la Vega (Valencia)". *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10, pp. 169-182.
- PÉREZ CUEVA, A.J. Y CALVO CASES, A. (1986): "La distribución de las ramblas en el País Valenciano: una aproximación cuantitativa". *Cuadernos de Geografía*, 38, pp. 61-74.
- PÉREZ MORALES, A. (2010): "Actuaciones de carácter estructural para la mitigación y prevención de los efectos de las riadas e inundaciones en los municipios del sur de la Región de Murcia". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 53, pp. 267-285.
- PÉREZ PUCHAL, P. (1967): "Los embalses y el régimen de los ríos valencianos". *Estudios Geográficos*, 28(107), pp. 149-196.
- PERTHUISOT, V. (1981): "Diapirism in northern Tunisia". *Journal of Structural Geology*, 3(3), pp. 231-235.
- PIQUÉ, A., TRICART, P., GUIRAUD, R., LAVILLE, E., BOUAZIZ, S., AMRHAR, M. Y AIT OUALI, R. (2002): "The Mesozoic-Cenozoic Atlas belt (North Africa): an overview". *Geodinamica Acta*, 15(3), pp. 185-208.
- POCKLINGTON, R. (1985): "Acequias árabes y pre-árabes en Murcia y Lorca: aportación toponímica a la historia del regadío". X^o Col-loqui de la Societat d'onomàtica, València, pp 462-473.
- PONCET, J. (1970): "La "catastrophe" climatique de l'automne 1969 en Tunisie". *Annales de Géographie*, Armand Colin, 435, pp. 581-595.
- POVEDA SÁNCHEZ, A. (2004): "Un estudio sobre las norias de sangre de origen andalusí: el caso de la alquería de Benassal (Castellón)". *Historia agraria: Revista de agricultura e historia rural*, 32, pp. 37-58.
- PRIETO BANCES, R. (1948): "La legislación del rey de Oviedo", pp. 175-221. En: MENÉNDEZ, R., BALLESTEROS, A., DEFOURNEAUX, M., FLICHE, A., DE LA TORRE, A., PRIETO, R., LACARRA, J.M., GÓMEZ, M., MAHN, J.B., BOUZA, F., PRADO, G., BALLESTEROS, P., MERECA, P., ARAUJO, L., SCHLUNK, H. Y URÍA, J., "Estudios sobre la monarquía asturiana: Colección de trabajos realizados con motivo del XI centenario de Alfonso II el Casto". Instituto de estudios asturianos, Oviedo, 545 pp.
- PRINZ, D. (1996): "Water harvesting—past and future", pp. 137-168. En: PEREIRA, L.S., FEDDES, R.A., GILLEY, J.R. Y LESAFFRE, B. (Eds.), "Sustainability of Irrigated Agriculture". Springer Netherlands, 631 pp.
- PRINZ, D. (1999): "Water harvesting techniques in the Mediterranean region", pp. 151-163. En: BERNDTSSON, R. (Ed.), "Proceedings of the International Seminar Rainwater Harvesting and Management in Arid and Semiarid Areas". Lund University Press, Sweden, 318 pp.
- PRINZ, D. Y MALIK, A.H. (2002): "Runoff farming". Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Department of Rural Engineering, University of Karlsruhe, D-76128 Karlsruhe, Germany, 39 pp.
- PUIGDEFÁBREGAS, J., SOLE, A., GUTIÉRREZ, L., DEL BARRIO, G. Y BOER, M., (1999): "Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain". *Earth Science Reviews*, 48(1-2), pp. 39-70.
- PUJANTE BELVIS, R. (1983): "Aguaceros en la ciudad de Alicante (1940-1979)", pp. 99-120. En: GIL OLCINA, J. ET AL. (Eds.) "Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante". Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, Alicante, 128 pp.
- PULIDO BOSCH, A. (2007): "Nociones de hidrogeología para ambientólogos". Almería, Edit. Universidad de Almería, 492 pp.
- QADIR, M., SHARMA, B.R., BRUGGEMAN, A., CHOUKR-ALLAH, R. Y KARAJEH, F. (2007): "Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries". *Agricultural water management*, 87(1), pp. 2-22.
- RAHMANI, K. (2015): "Historia y memoria de los moriscos en el Magreb: Estudio comparativo". Tesis doctoral. Faculté des Langues Étrangères, Université d'Oran, 192 pp.
- RAMIS NOGUERA, C., LLASAT BOTJA, M.C., GENOVÉS TEROL, A. Y JANSÀ CLAR, A. (1994): "The October-1987 floods in Catalonia: Synoptic and mesoscale mechanisms". *Meteorological Applications*, 1(4), pp. 337-350.

- REIJ, C. (1991): *"Indigenous soil and water conservation in Africa"*. Sustainable Agriculture Programme of the International Institute for Environment and Development, 33 pp.
- REIJ, C., MULDER, P. Y BEGEMAN, L. (1988): *"Water harvesting for plant production"*. World Bank Technical paper 91. World Bank, Washington, 123 pp.
- RENNER, H.F. Y FRASIER G. (1995): *"Microcatchment water harvesting for agricultural production. Part I. physical and technical considerations"*. *Rangelands Archives*. 17(3) pp. 72-78.
- RIBA, O., REGUANT, S. Y VILLENA, J. (1983): *"Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca terciaria del Ebro"*. En: IGME (Ed.), *"Libro Jubilar J.M. Ríos Geología de España"*. Vol. 2. IGME, Madrid, pp. 131-159.
- RIESCO MARTÍN, J. (2009): *"Depresiones en niveles altos y precipitaciones intensas de origen marítimo en Andalucía Oriental"*. AEMET, Madrid, 232 pp.
- RIESCO MARTÍN, J. Y ALCOVER RONDA, V. (2003): *"Predicción de precipitaciones intensas de origen marítimo mediterráneo en la Comunidad Valenciana y en la Región de Murcia"*. INM, Madrid, 124 pp.
- ROCKSTRÖM, J., HATIBU, N., OWEIS, T.Y., WANI, S., BARRON, J., BRUGGEMAN, A., FARAHANI, J., KARLBERG, L. Y QIANG, Z. (2007): *Managing Water in Rainfed Agriculture*. En: Molden, D. (Ed). *"Water for Food, Water for Life: Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture"*. Earthscan and International Water Management Institute (IWMI), London and Colombo, pp. 315-352.
- RODIER, J.A., COLOMBANI, J., CLAUDE, J. Y KALLEL, R. (1981): *"Le bassin de la Medjerda"*. Monographies hydrologique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer y Service Hydrologique de Tunisie, Paris, 451 pp.
- RODRÍGUEZ AIZPEOLEA, J. (1992): *"Un ejemplo de la influencia del uso y abandono de bancales de fondo de canal en la evolución de Badlands (Petrer-Alacant)"*. Estudios de geomorfología en España, *Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología*. Murcia, 23-25 de septiembre 1992, pp. 211-220.
- RODRÍGUEZ-AIZPEOLEA, J. Y LASANTA-MARTÍNEZ, T. (1992): *"Los bancales en la agricultura de la montaña mediterránea: una revisión bibliográfica"*. *Pirineos*, 139, pp. 105-123.
- ROGNON, P. (2001): *"Comment développer la recharge artificielle des nappes en régions sèches?"*. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(4), pp.289-296.
- ROMERO DÍAZ, A. (2003): *"Influencia de la litología en las consecuencias del abandono de tierras de cultivo en medios mediterráneos semiáridos"*. *Papeles de Geografía*, 38, pp. 151-165.
- ROSSELLÓ-BORDOY, G. (1986): *"Els qanat(s) a Mallorca: un avena a l'estudi de les seves tècniques constructives"*. En: BARCELÓ, M., CARBONERO, M.A, MARTÍ, R. Y ROSELLÓ-BORDOY, G., *"Les aigües cercades: els qanats de l'illa de Mallorca"*, Institut d'Estudis Balearics, Palma de Mallorca, 145 pp.
- RUÍZ PÉREZ, J.M. (2001): *"Hidrogeomorfología del llano de inundación del Júcar"*. Tesis Doctoral. Departament de Geografia, Universitat de València, València, 200 pp.
- SAADAOU, A. (2000): *"Los andalusíes"*, pp. 127-135. En: BEN FRAJ, B. Y GUELLATY, M. (Dirs.), *"Ifriqiya. Trece siglos de arte y arquitectura en Túnez"*. Colección Museo Sin Fronteras. Ed. Déméter, Túnez, 310 pp.
- SAHTOUT, N., EL AMRI, A., FOURATI, M. Y 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), pp. 320-335.
- SAHUQUILLO, A., CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. (2009): *"La gestión de las aguas subterráneas"*. *Tecnología del Agua*, marzo y abril, 305, pp. 60-67.
- SALAZAR, Z. (1921): *"Cultivo del secano español: Agricultura de tierras áridas"*. Serie: Catecismos del agricultor y del ganadero IV. Ed. Espasa Calpe, Madrid, 32 pp.
- SANTOS DELTELL, M.J. (1991): *"Situaciones ciclogénéticas. Estudio de precipitaciones superiores a 200 mm en 24 horas en la provincia de Alicante. 1953-1989"*. *Investigaciones Geográficas*, 19, pp. 129-140.
- SANTOS PEREIRA, L., CORDERY, I. E IACOVIDES, I. (2009): *"Coping with water scarcity: Addressing the challenges"*. Springer Netherlands, Science & Business Media, 382 pp.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1990a): *"La prolongación hacia el sur de la fosa y desgarres del norte y Centro de Europa; una propuesta de interpretación"*. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 3(1-2), pp. 231-241.

- SANZ GALDEANO, C. (1990b): "Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present". *Tectonophysics*, 172(1-2), pp. 107-119.
- SCARBOROUGH, V. (2003): "*The Flow of Power: Ancient Water Systems and Landscapes*". School for Advanced Research Press, SantaFe, 224 pp.
- SCHICK, A.P. (1988): "Hydrologic aspects of floods in extreme arid environments", pp. 189-203. En: KOCHER, R.C. Y PATTON, P.C. (Eds.), "*Flood Geomorphology*", Chichester, pp. 528 pp.
- SCHIØLER, T. (1973): "Roman and Islamic water-lifting wheels". *Technology and Culture*, Odense University Press, 15(4), pp. 628-630.
- SCHMID, B., MICHALSKY, J.J., SLATER, D.W., BARNARD, J.C., HALTHORE, R.N., LILJEGREN, J.C., HOLBEN, B.N., ECK, T.F., LIVINGSTON, J.M., RUSSEL, P.B., INGOLD, T. Y STUTSKER, I. (2001): "Comparison of columnar water-vapor measurements from solar transmittance methods". *Applied Optics*, 40(12), pp. 1.886-1.896.
- SCHUMM, S.A. (1956): "Evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth Amboy". *Bulletin Geological Society of America*, New Jersey, 67(5), pp. 597-646.
- SEGURA BELTRÁN, F. (1990): "*Las ramblas valencianas*". Tesis Doctoral. Universitat de València, 229 pp.
- SEGURA BELTRÁN, F. Y BELTRÁN SEGURA, A. (2017): "L'aigua al terme de Xert: factors de localització i tipologia d'entitats hídriques". *Centro de Estudios Maestrazgo*, 98, pp. 30-58.
- SEGURA BELTRÁN, F. Y CAMARASA BELMONTE, A.M. (1996): "Balances hídricos de crecidas en ramblas mediterráneas: pérdidas hídricas", pp. 235-245. En: VALLADARES, P., DORTA, P. Y MARZOL, M.V. (Coords), "*Clima y Agua. La gestión de un recurso climático*", La Laguna, 398 pp.
- SENOWBARI-DARYAN, B. Y RIGBY, J.K. (1991): "Three additional thalimid sponges from the Upper Permian reefs of Djebel Tebaga (Tunisia)". *Journal of Paleontology*, 65(4), pp. 623-629.
- SGHARI, A. (2011): "Observations de karsts pliocènes fossilisés par des limons éoliens quaternaires dans les monts de Matrmata". *Karstologia*, 57, pp. 1-12.
- SIMÓN GÓMEZ, J.L. (1984): "*Compresión y distensión alpinas en la cadena ibérica oriental*". Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 269 pp.
- SIMÓN GÓMEZ, J.L. Y PÉREZ CUEVA, A.J. (1980): "El Trías extrusivo al norte de la Sierra de Espadán: aspectos tectónicos y morfotectónicos". *Cuadernos de Geografía*, 27, pp. 143-156.
- SIMÓN GÓMEZ, J.L., PÉREZ CUEVA, A.J. Y CALVO CASES, A. (1983): "Morfogénesis y neotectónica en el sistema de fosas del Maestrat (Provincia de Castellón)". *Estudios Geológicos*, 39(3), pp. 167-177.
- SIMÓN PORCAR, G. (2017): "*Estudio estratigráfico y estructural de los sedimentos neógenos al Este de la Sierra del Pobo (Cordillera Ibérica)*". Trabajo de fin de grado, Liesa, C. (Dir.), Dep Ciencias de la Tierra, Fac. Ciencia, Universidad de Zaragoza, 25 pp.
- SMIDA, H., ZAIRI, M., TRABELSI, R. Y BEN-DHIA, H. (2006): "Identification de zones de recharge induite d'aquifères à l'aide d'un Système d'information géographique: cas de la nappe de Chaffar (Sud-Est tunisien)". *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(3), pp. 433-442.
- SPENCER, J.E. Y HALE, G.A. (1961): "The origin, nature, and distribution of agricultural terracing". *Pacific Viewpoint*, 2(1), pp. 1-40.
- STENLUND, S. (1991): "*Rainwater harvesting metoder för uppsamling av regnvatten för bevattning*". En litteraturöversikt, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, 25 pp.
- STRAHLER, A.N. Y STRAHLER, A.H. (1989): "*Geografía física*". 3ª Ed. Omega, 636 pp.
- TOBBI, B. (1994): "Water Harvesting: Historic, Existing and Potentials in Tunisia". *Water Harvesting For Improved Agricultural Production*, FAO, Expert Consultation, El Cairo, Egypt, 21-25 Nov. 1993, pp. 189-201.
- TORRES BALBÁS, L. (1940): "Las norias fluviales en España". *Crónica arqueológica de la España musulmana*, VI(38) pp. 192-208.
- TORRES FAUS, F. (1987): "*L'evolució de l'estructura de la propietat i els cultius en Carcaixent: (la formació i el desenvolupament d'un nucli taronjaire en la Ribera Alta del Xuquer)*". Tesis de Licenciatura. Universitat de València, València.

- TORRES FONTES, J. (1977): “*Repartimiento de Lorca*”. Ayuntamiento de Murcia/Academia Alfonso X el Sabio, Murcia, 130 pp.
- TOUT, D.G., WHEELER, D.A. Y MARTÍN VIDE, J. (1990): “Los aguaceros de principios del Otoño de 1989 en el este de España”. *Riegos y Drenajes XXI*, Barcelona, 43, pp. 25-32.
- TRIGUI, H., AHMADI, R., OUALI, J., KHALFI, C. Y MERCIER, E. (2016): “Evidence of fault-propagation folds in foreland basin: the case of Chemsí and Belkhir anticlines of southern Tunisian Atlas”. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(18), pp. 706-722.
- TRZPIT, J.P. (1980): “*L’eau précipitable: un paramètre climatique trop rarement exploité*”. *Annales de Géographie*, 494 pp. 454-477.
- VAN STEENBERGEN, F. Y TUINHOF, A. (2009): “*Managing the Water Buffer for Development and Climate Change Adaptation: Groundwater Recharge, Retention, Reuse and Rainwater Storage*”. 2nd ed. Wageningen: MetaMeta, Acacia Water, RAIN, BGR, UNESCO International Hydrological Programme, Paris, 92 pp.
- VERA, J.A. (2000): “El Terciario de la Cordillera Bética: Estado actual de conocimientos”. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13(2), pp. 345-373.
- VERA, J.A. (Ed.). (2004): “*Geología de España*”. IGME, Madrid, 884 pp.
- VERA, M. (1998): “Unas máquinas desaparecidas. Las norias o sènies”. *Arse: Boletín anual del Centro Arqueológico Saguntino*, 32, pp. 183-188.
- VIERS, G. (1968): “*Éléments de climatologie*”. Nathan, Paris, 223 pp.
- VILÀ I VALENTÍ, J. (1961): “La lucha contra la sequía en el sureste de España”, *Estudios geográficos* 22(82), pp. 25-48.
- VILLARROYA GIL, F., PÉREZ CUEVA, A.J., FANSA, G. Y PENALBA GUILLÉN, J.L. (2014): “La hidrogeología sutil: aplicación a la cuenca alta del río Alfambra (Teruel)”, pp. 887-898. En: Gómez, J.J. y Rodrigo, J. (Eds.), “*II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas. Libro de Actas*”. CIAS2014, Valencia, del 8 al 10 de septiembre de 2014, 909 pp.
- VINEY, N.R. Y SIVAPALAN, M. (2004): “A framework for scaling of hydrologic conceptualizations based on a disaggregation-aggregation approach”, *Hydrological Processes*, 18, pp. 1.395-1.408.
- WALTER, H. (1976): “*Vegetació i clima del món*”. Barcelona, Departament de Botànica de la Univesitat, 234 pp.
- WESTERN, A.W., BLOESCHL, G. Y GRAYSON, R.B. (1998): “Geostatistical characterisation of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment”. *Journal of Hydrology*, 205(1-2), pp. 20-37.
- WHEELER, D. Y MARTÍN VIDE, J. (1988): “Las precipitaciones torrenciales del 1 al 5 de octubre de 1987 en Barcelona”. *Riegos y drenajes XXI*, 22, pp. 61-67.
- WIDTSOE, J.A. (1911): “*Dry-Farming. A system of agriculture for countries under a low rainfall*”. Indian Agricultural Research Institute, Nueva Delhi, 445 pp.
- WITTFOGEL, K.A. (1957): “*Oriental despotism: a comparative study of total power*”. New Haven, CT: Yale University Press, Massachusetts, 556 pp.
- WOODLAND, W. Y HILL, J. (2006): “Water Management for Agriculture in Tunisia: Towards Environmentally Sustainable Development”, pp. 229-252. En: HILL, J., TERRY, A. Y WOODLAND, W. (Eds.), “*Sustainable Development: National Aspirations, Local Implementation*”. Burlington: Ashgate Publishing, 344 pp.
- WORM, J. Y VAN HATTUM, T. (2006): “*Rainwater harvesting for domestic use*”. Agromisa fundacion y CTA/RAIN (Rainwater Harvesting Implementation Network). Wageningen, The Netherlands, 84 pp.
- YAIR, A. (1996): “Spatial variability in runoff in semiarid and arid áreas”, pp. 71-90. En: RUBIO, J.L. Y CALVO, A. (Eds.), “*Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*”, Geoforma, Logroño, 290 pp.
- YAIR, A. Y LAVÉE, H. (1985): “Runoff generation in arid and semi-arid zones”, pp. 183-220. En: ANDERSON, M.G. Y BURT, T.P. (Eds.), “*Hydrological Forecasting*”, John Wiley & Sons, Chichester, 604 pp.
- YAZAR, A. Y ALI, A. (2016): “Water harvesting in dry environments”, pp. 49-98. En: FAROOQ, M. Y SIDDIQUE, K. (Eds.), “*Innovations in Dryland Agriculture*”, Springer International Publishing, 571 pp.

- YAZDI, A.A.S. Y 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, 310 pp.
- ZAHAR, Y., GHORBEL, A. Y ALBERGEL, J. (2008): "Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity downstream of the Sidi Salem dam (Tunisia)". *Journal of Hydrology*, 351(3-4), pp. 318-330.
- ZAHAR, Y. 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), pp. 409-424.
- ZARGOUNI, F. (1985): "Tectonique de l'Atlas méridional de Tunisie, évolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement". Tesis Doctoral. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 292 pp.
- ZIV, B. (1997): "Heavy Rain Events in North Africa and the Mid-East associated with Disturbances in the Subtropical Jet", pp. 463-468. Simposio internacional INM/OMM sobre ciclones y tiempo adverso en el Mediterráneo. Ministerio de Medio Ambiente, Palma de Mallorca, 841 pp.

WEBGRAFÍA

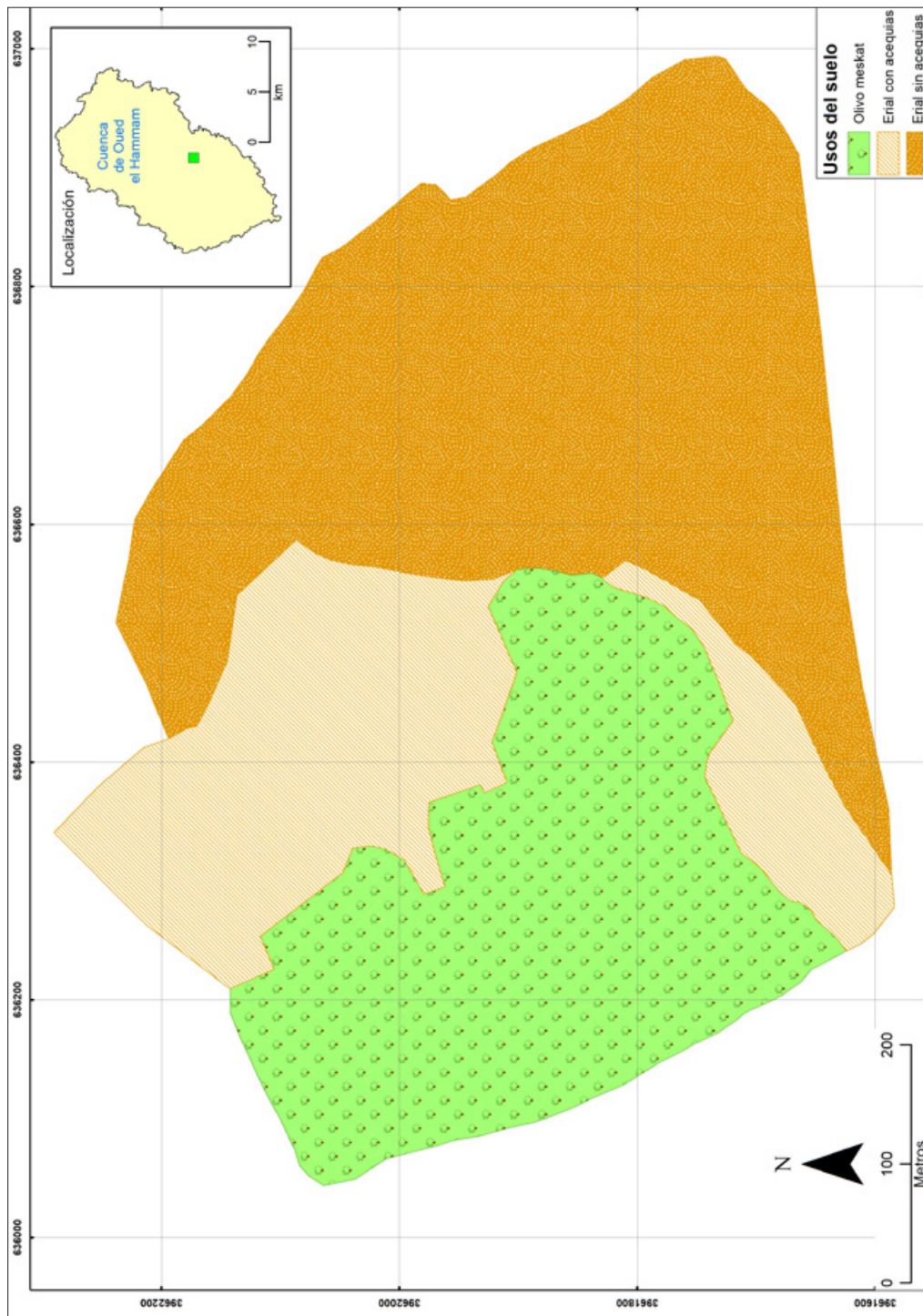
- Atlas Nacional de España* (2005): MINISTERIO DE FOMENTO E INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. Centro Nacional de Información Geográfica, <http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/>.
- Data de Wetterzentrale www.wetterzentrale.de.
- Datos climáticos mundiales www.climate-data.org.
- Global Weather Data for SWAT (<https://globalweather.tamu.edu/>).
- NASA, METI, AIST, JAPAN SPACESYSTEMS Y U.S./JAPAN ASTER SCIENCE TEAM (2009): "ASTER Global Digital Elevation Model". NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/ASTER/ASTGTM.002
- NICOLÁS VERA, G. (2016): "LAS RUTAS DEL AGUA Regantes de boquera". EnClave Cultura, Centro Cultural y Auditorio de Beniaján, Ayuntamiento de Murcia. <https://youtu.be/6KsmmycFNW4>
- PRINZ, D. (2011): "The Concept, Components and Methods of Rainwater Harvesting". 2^{ème} Arab Water Forum "Living with Water Scarcity", 20-23 Novembe, 2011. Cairo, Egypt, http://www.edensys.co.ke/pdfs/P1-1-Dieter_The-Concept.pdf
- Red de Información Ambiental de Andalucía, Visor del Subsistema CLIMA, Conserjería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía. <http://www.climasig.es/visor.phtml>
- RUTHERFORD, R. (2005): "Water Harvesting: An Overview", 23 pp, https://www.protos.ngo/sites/default/files/library_assets/311_RUT_E2_Water_Harvesting.pdf.
- SILGADO, A., ROMÁN, J., MARTÍN, M. Y MANTECÓN, R. (2002): "Uso eficiente del agua en cuencas. Optimización de la gestión de los recursos hidráulicos mediante la recarga artificial. Experiencias en la cuenca del Guadalquivir". Internet: <https://es.unesco.org/>.

ANEXO I.

Tratamiento cartográfico detallado de los sectores de meskat seleccionados



*Olivo longevo.
Fuente: Autor.*

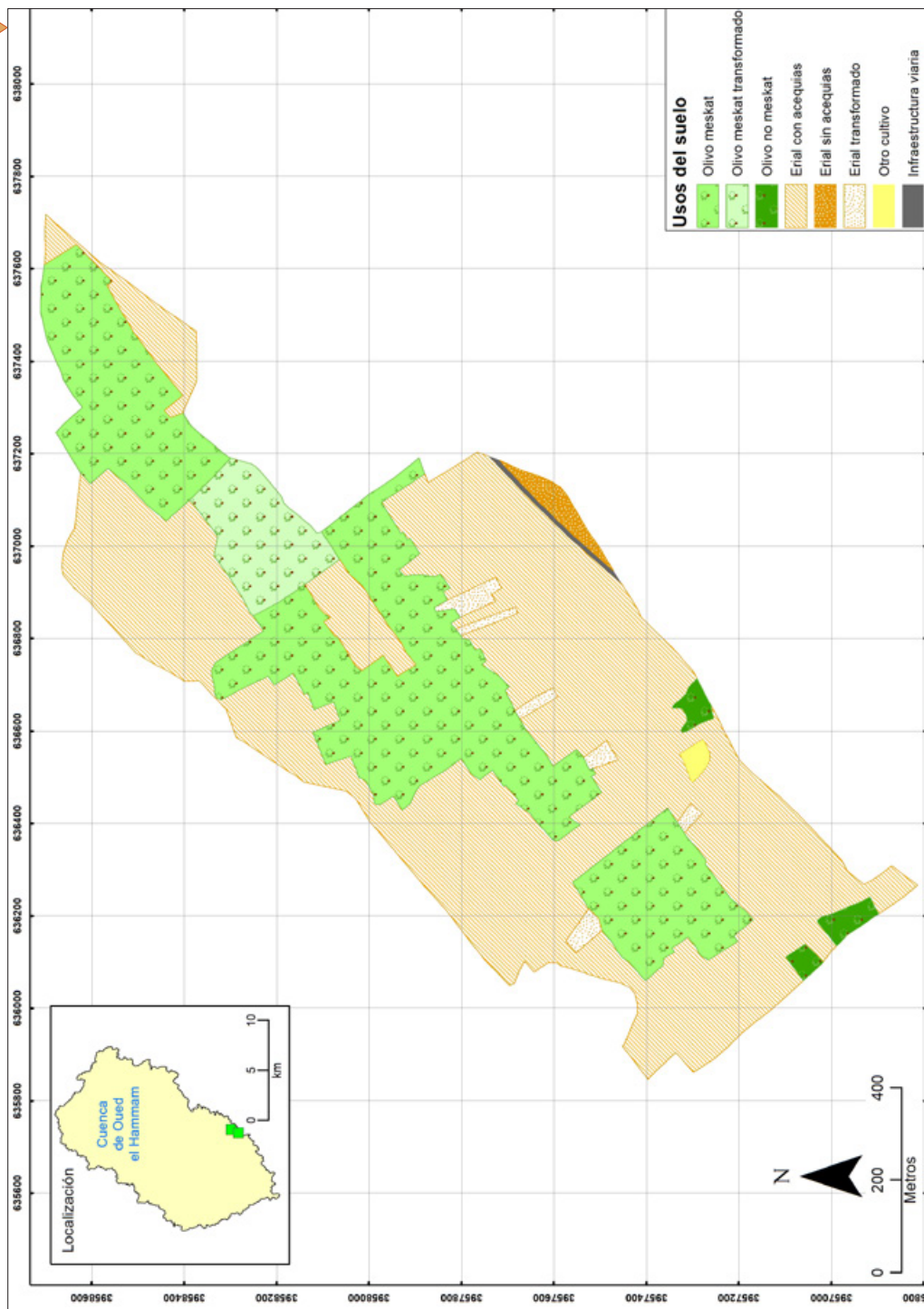


USOS DEL SUELO		
An-nagr	m ²	%
Erial	302220	68,9
Olivo <i>meskat</i>	136433	31,1
Otros cultivos	0	0
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	438653	100

Erial/Olivo <i>meskat</i>	2,22
----------------------------------	-------------

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	302220
Transformado (m ²)	0
% Transformación	0

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
Altura media (m ²)	Erial	49,1
	Olivo <i>meskat</i>	45,4
Pendiente media (%)	Erial	5,1
	Olivo <i>meskat</i>	4,5



USOS DEL SUELO

An-nawwalat	m ²	%
Erial	799572	62,0
Olivo <i>meskat</i>	467895	36,3
Otros cultivos	17941	1
Natural	0	0
Antrópico	3698	0
Total	1289106	100

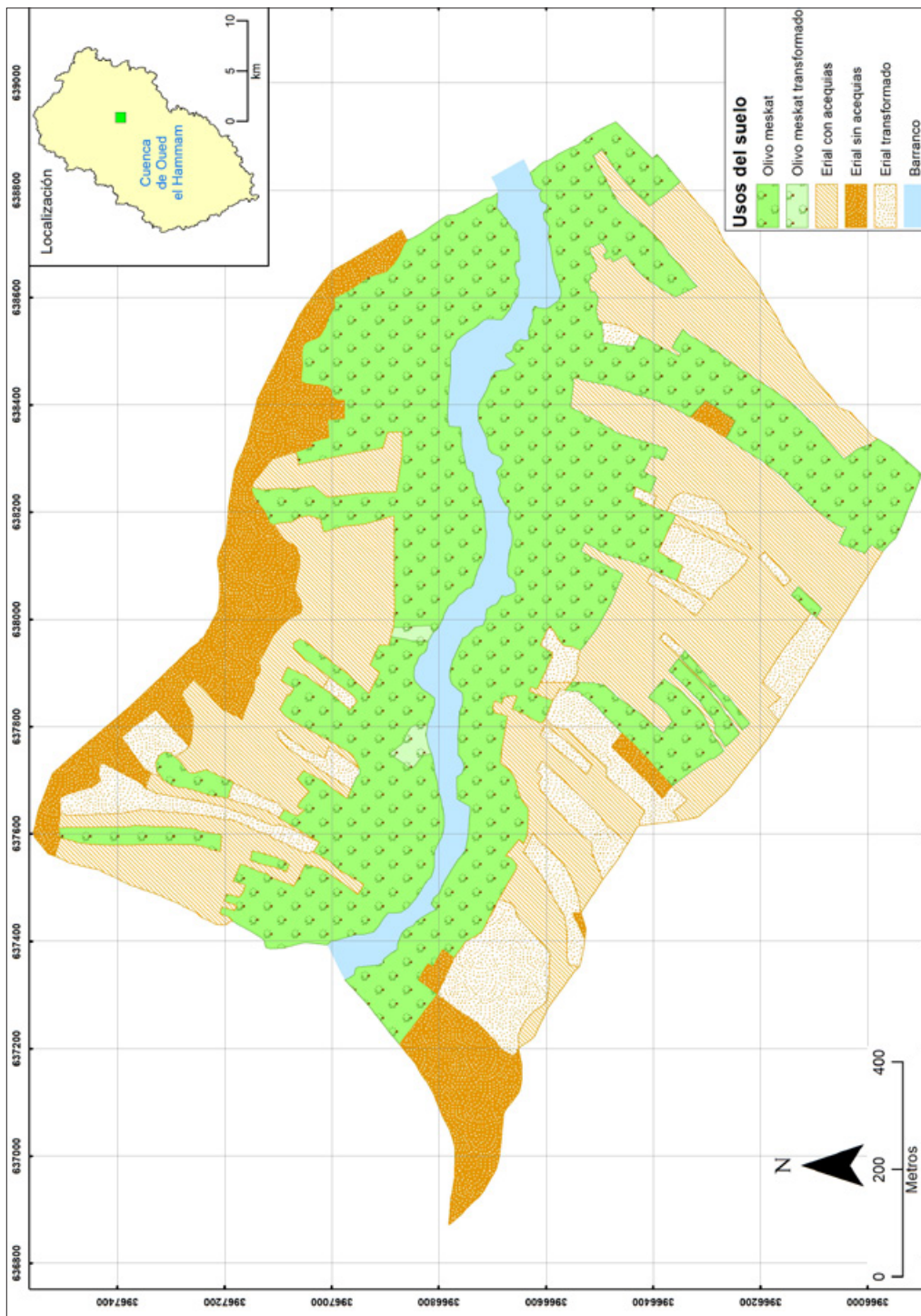
TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	799572
Transformado (m ²)	17462
% Transformación	2,2

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	81,9
	Olivo <i>meskat</i>	74,6
"Pendiente media (%)"	Erial	5,5
	Olivo <i>meskat</i>	5,1

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,71
---------------------------	------

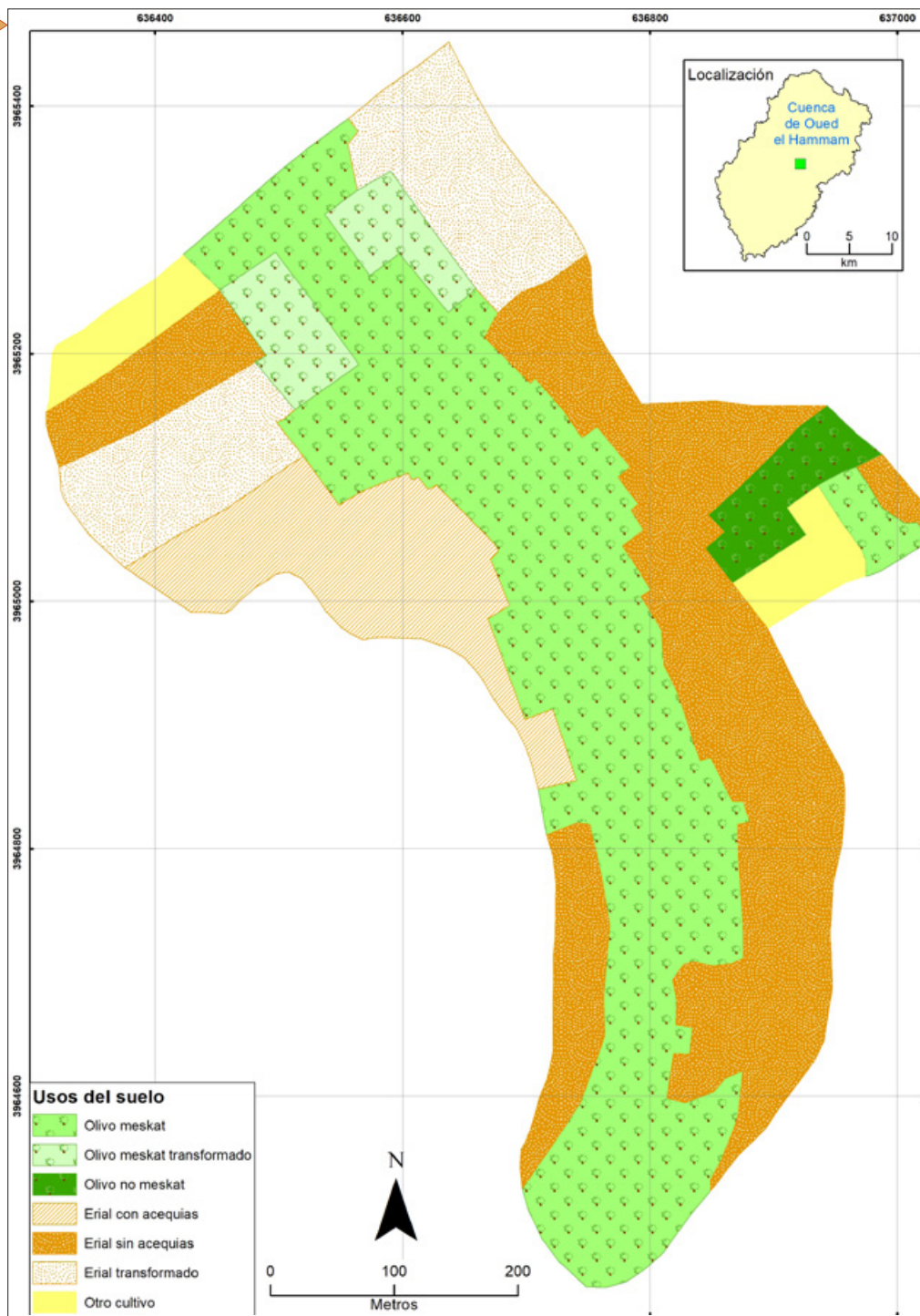


USOS DEL SUELO		
As-sabbaghin-Norte	m ²	%
Erial	797078	49,8
Olivo <i>meskat</i>	709093	44,3
Otros cultivos	0	0
Natural	95694	6
Antrópico	0	0
Total	1601865	100

Erial/Olivo *meskat* 1,12

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	797078
Transformado (m ²)	150333
% Transformación	18,9

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	47,3
	Olivo <i>meskat</i>	39,8
"Pendiente media (%)"	Erial	6,4
	Olivo <i>meskat</i>	7,3

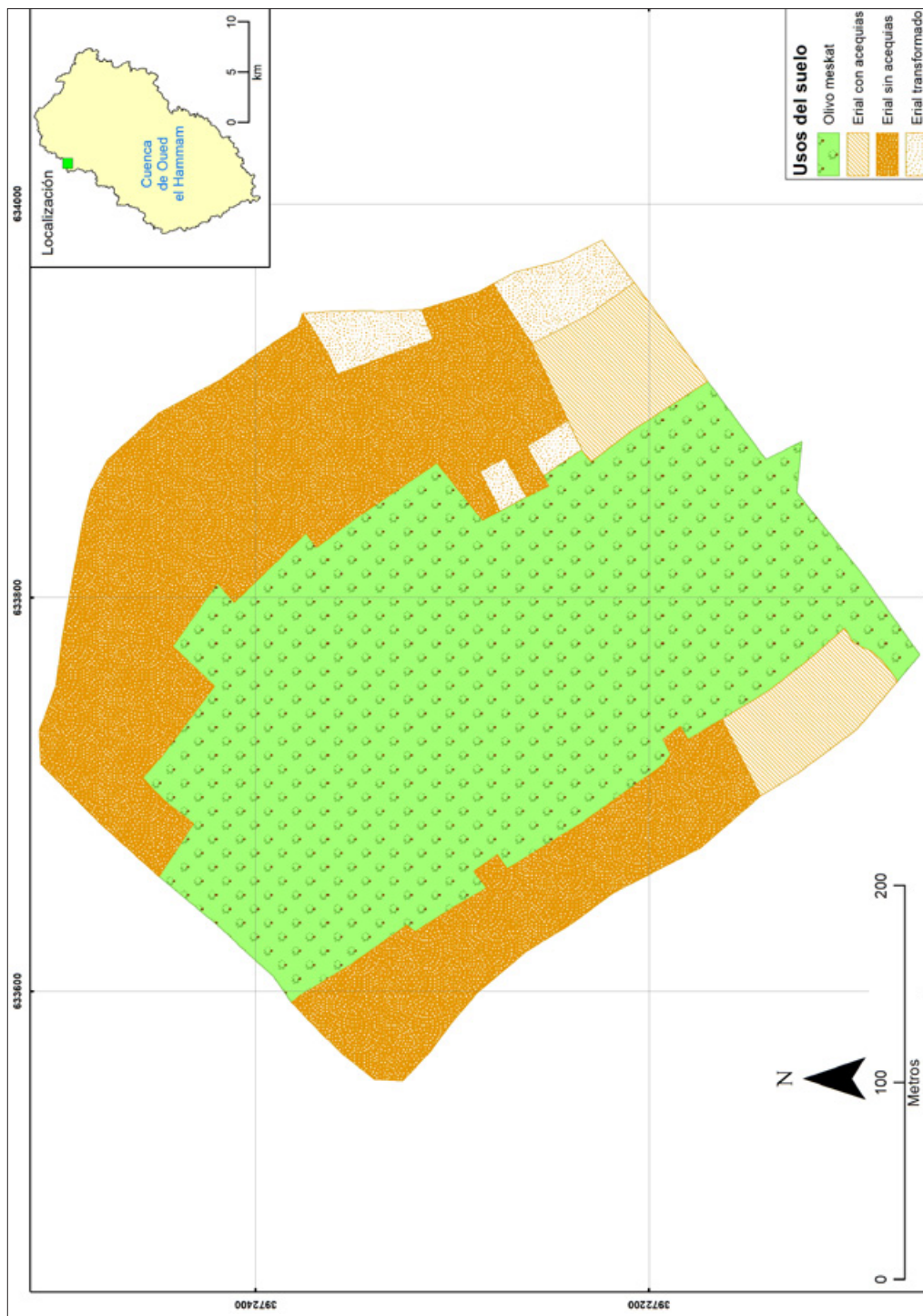


USOS DEL SUELO		
As-sabbaghin-Sur	m ²	%
Erial	151618	50,5
Olivo <i>meskat</i>	128948	43
Otros cultivos	19492	6,5
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	300058	100

Erial/Olivo *meskat* 1,18

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	151618
Transformado (m ²)	35905
% Transformación	23,7

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	41,7
	Olivo <i>meskat</i>	38,2
"Pendiente media (%)"	Erial	6,6
	Olivo <i>meskat</i>	6



USOS DEL SUELO		
Cabezera Oued al-Bashir	m ²	%
Erial	53029	46,3
Olivo <i>meskat</i>	61433	53,7
Otros cultivos	0	0
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	114462	100

Erial/Olivo <i>meskat</i>	0,86
----------------------------------	-------------

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	53029
Transformado (m ²)	4011
% Transformación	7,6

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	91,3
	Olivo <i>meskat</i>	87,2
"Pendiente media (%)"	Erial	6,4
	Olivo <i>meskat</i>	5,7

I-6

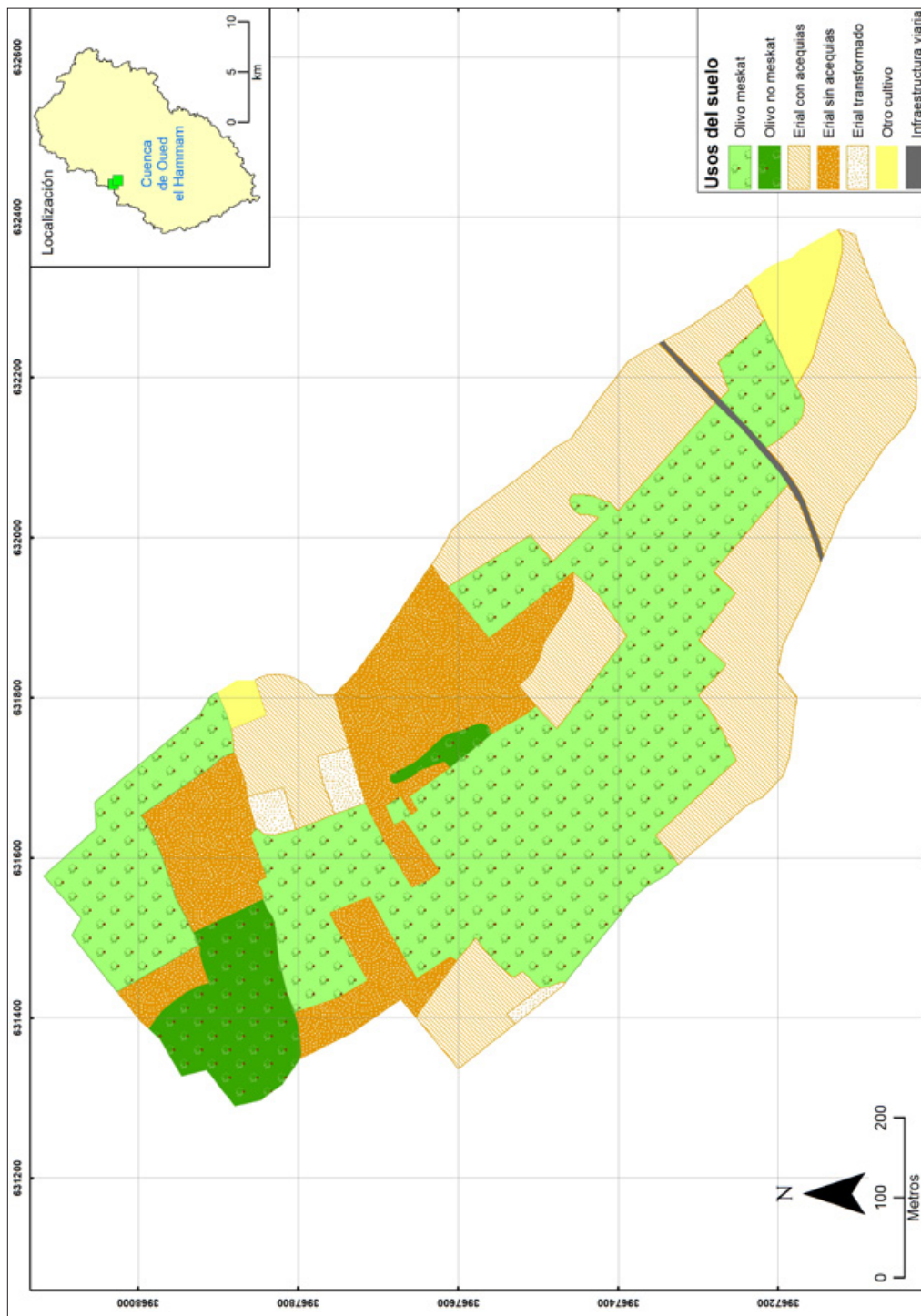


USOS DEL SUELO		
Cabeza Oued Bou Tram	m ²	%
Erial	129059	40,9
Olivo <i>meskat</i>	136623	43,3
Otros cultivos	12128	3,8
Natural	10556	3,3
Antrópico	27260	8,6
Total	315625	100

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	129059
Transformado (m ²)	6991
% Transformación	5,4

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	88,1
	Olivo <i>meskat</i>	80,9
"Pendiente media (%)"	Erial	6,3
	Olivo <i>meskat</i>	8,2

Erial/Olivo <i>meskat</i>	0,94
---------------------------	------

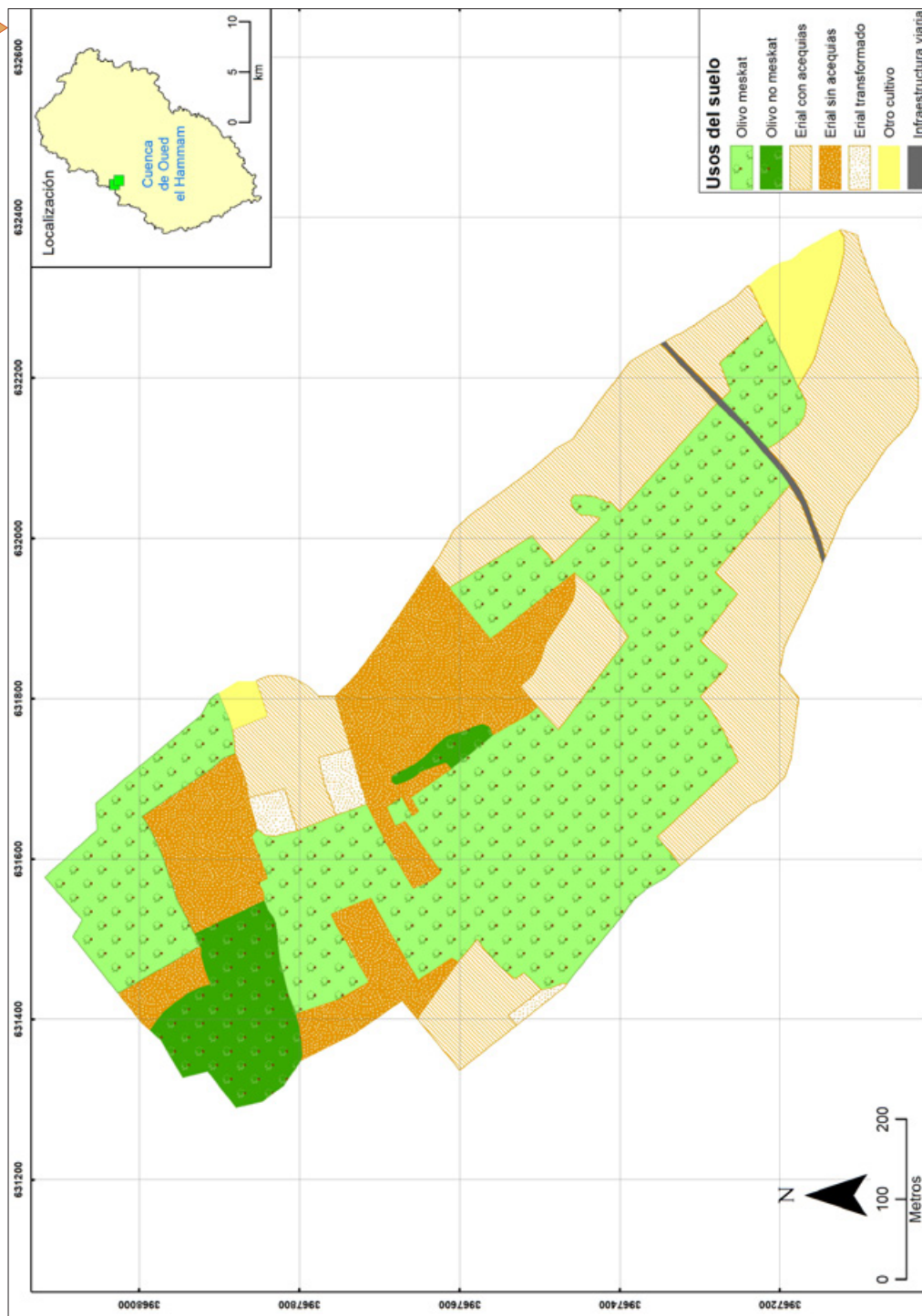


USOS DEL SUELO		
Hanshir As-snab	m ²	%
Erial	248521	46,6
Olivo <i>meskat</i>	236538	44,3
Otros cultivos	46136	8,6
Natural	0	0
Antrópico	2545	0,5
Total	533741	100

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,05
---------------------------	------

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	248521
Transformado (m ²)	6682
% Transformación	2,7

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	125,6
	Olivo <i>meskat</i>	125,4
"Pendiente media (%)"	Erial	5,9
	Olivo <i>meskat</i>	5,9



USOS DEL SUELO

Hanshir As-snab/Oued al-Ghars	m ²	%
Erial	276056	43,1
Olivo <i>meskat</i>	244051	38,1
Otros cultivos	15989	2,5
Natural	103904	16,2
Antrópico	0	0
Total	640000	100

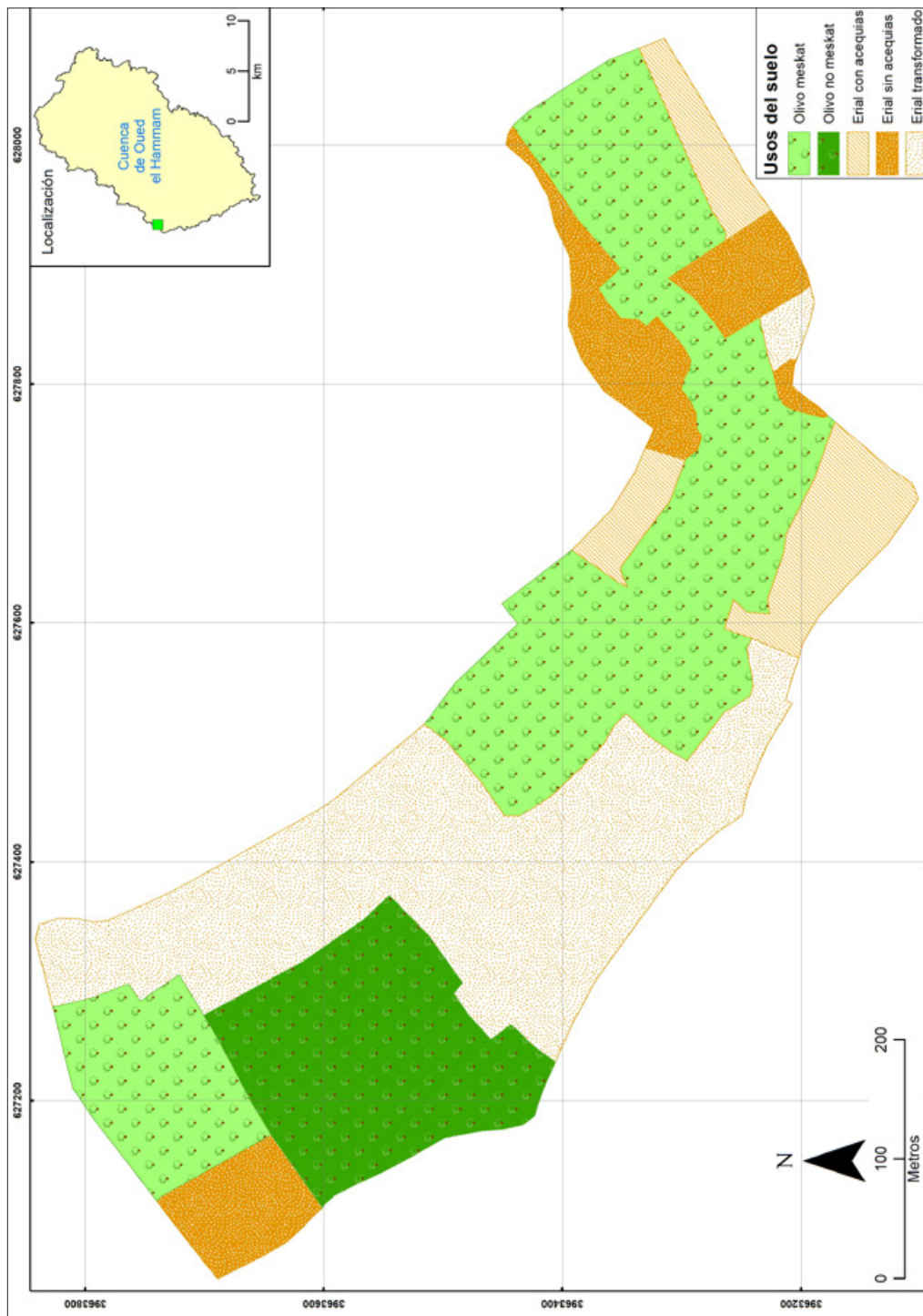
TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	276056
Transformado (m ²)	33150
% Transformación	12

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	76,9
	Olivo <i>meskat</i>	72,9
"Pendiente media (%)"	Erial	6
	Olivo <i>meskat</i>	6,4

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,13
---------------------------	------



USOS DEL SUELO		
Hanshir At-tawila-1	m ²	%
Erial	131699	48,8
Olivo <i>meskat</i>	98564	36,5
Otros cultivos	39836	14,7
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	270099	100

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	131699
Transformado (m ²)	81952
% Transformación	62,2

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	135,6
	Olivo <i>meskat</i>	131,4
"Pendiente media (%)"	Erial	5,5
	Olivo <i>meskat</i>	4,7

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,34
---------------------------	------



USOS DEL SUELO

Hanshir At-tawila-2	m ²	%
Erial	174526	25,9
Olivo <i>meskat</i>	500262	74,1
Otros cultivos	0	0
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	674789	100

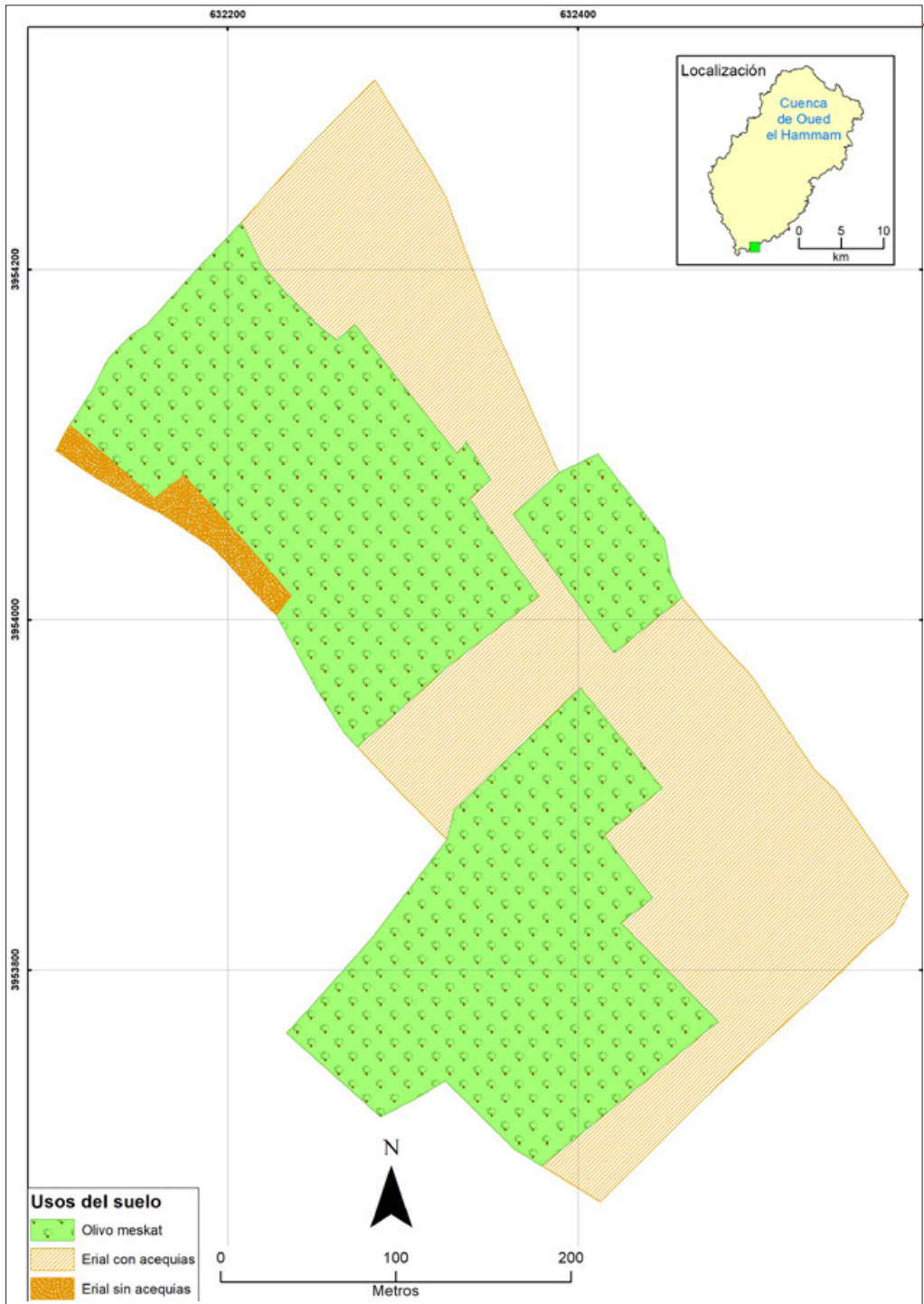
TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	174526
Transformado (m ²)	4920
% Transformación	2,8

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	124,7
	Olivo <i>meskat</i>	123,3
"Pendiente media (%)"	Erial	4,6
	Olivo <i>meskat</i>	4,8

Erial/Olivo *meskat* 0,35

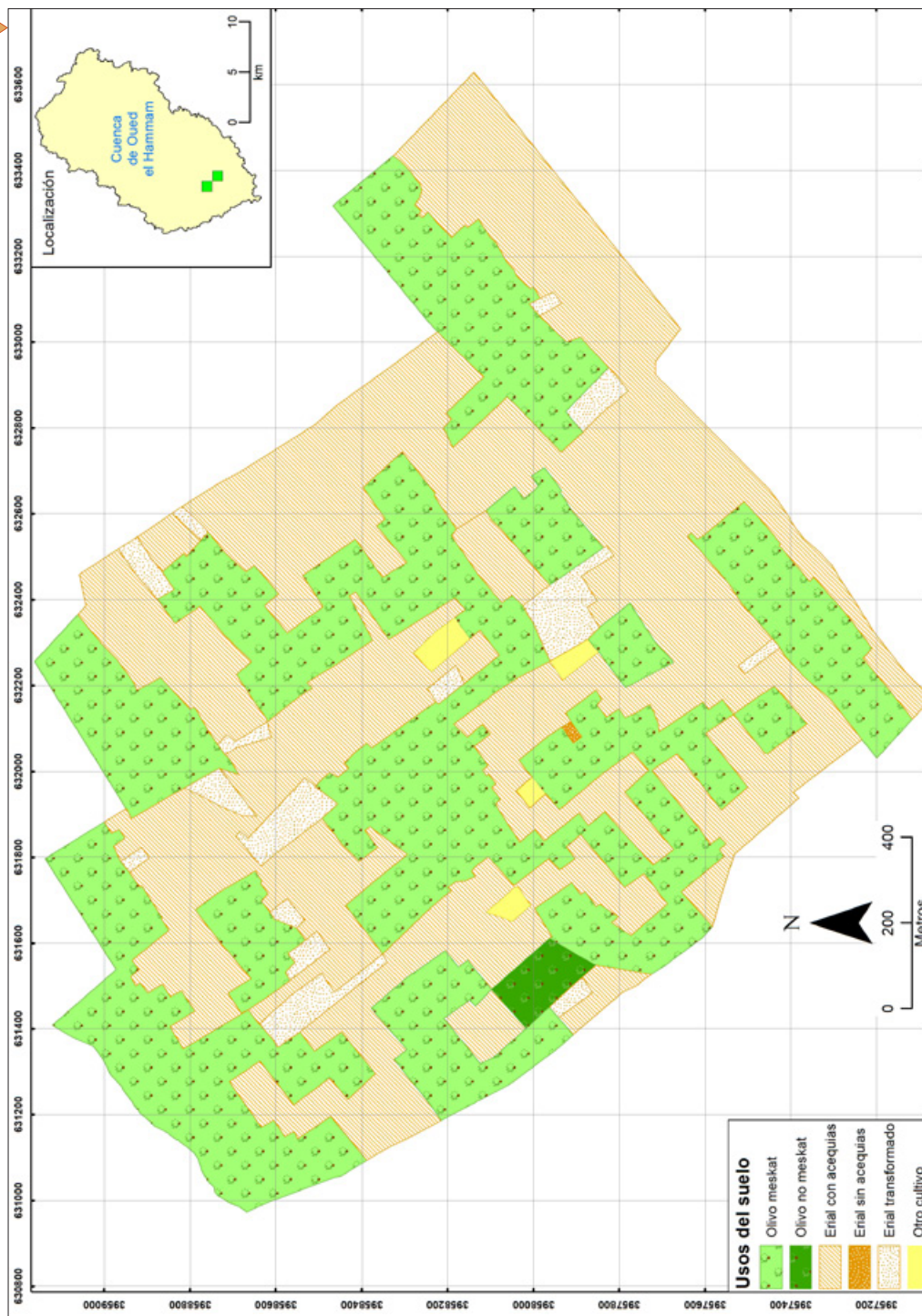


USOS DEL SUELO		
Hanshir Bashir	m ²	%
Erial	59173	44,4
Olivo <i>meskat</i>	74131	55,6
Otros cultivos	0	0
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	133304	100

Erial/Olivo *meskat* 0,80

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	59173
Transformado (m ²)	0
% Transformación	0

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	97,1
	Olivo <i>meskat</i>	94,5
"Pendiente media (%)"	Erial	5,6
	Olivo <i>meskat</i>	6,4



USOS DEL SUELO

Hanshir Ghánib	m ²	%
Erial	1521909	52,5
Olivo meskat	1332620	46
Otros cultivos	43006	1,5
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	2897534	100

TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	1521909
Transformado (m ²)	112572
% Transformación	7,4

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	64,5
	Olivo meskat	61,6
"Pendiente media (%)"	Erial	4,9
	Olivo meskat	4,9

Erial/Olivo meskat	1,14
--------------------	------



USOS DEL SUELO

Hanshir Oued Laia	m ²	%
Erial	1118041	47,8
Olivo <i>meskat</i>	1163721	49,7
Otros cultivos	57587	2,5
Natural	0	0
Antrópico	0	0
Total	2339348	100

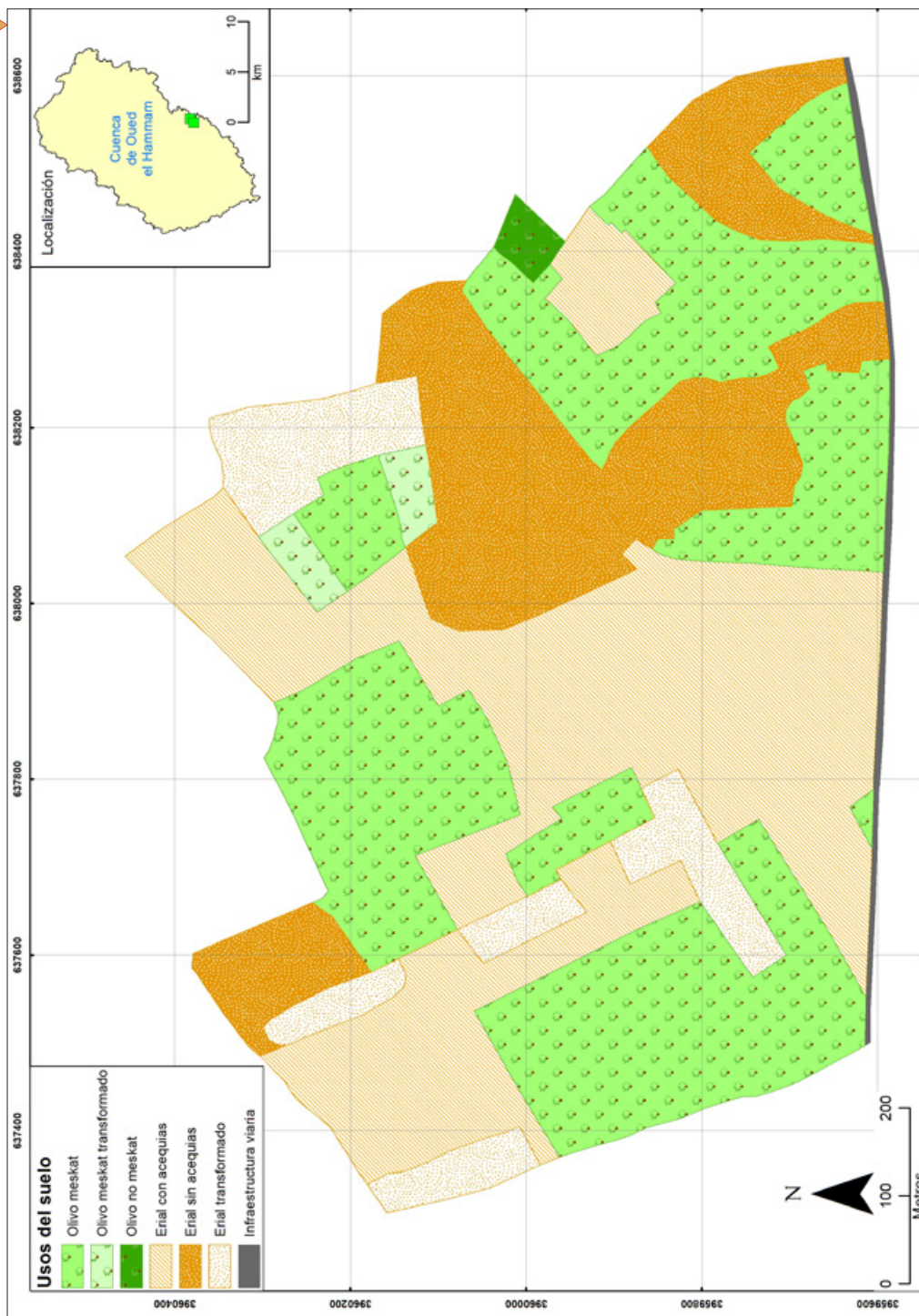
Erial/Olivo *meskat* 0,96

TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	1118041
Transformado (m ²)	109247
% Transformación	9,8

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	52
	Olivo <i>meskat</i>	48,4
"Pendiente media (%)"	Erial	5,9
	Olivo <i>meskat</i>	6,5

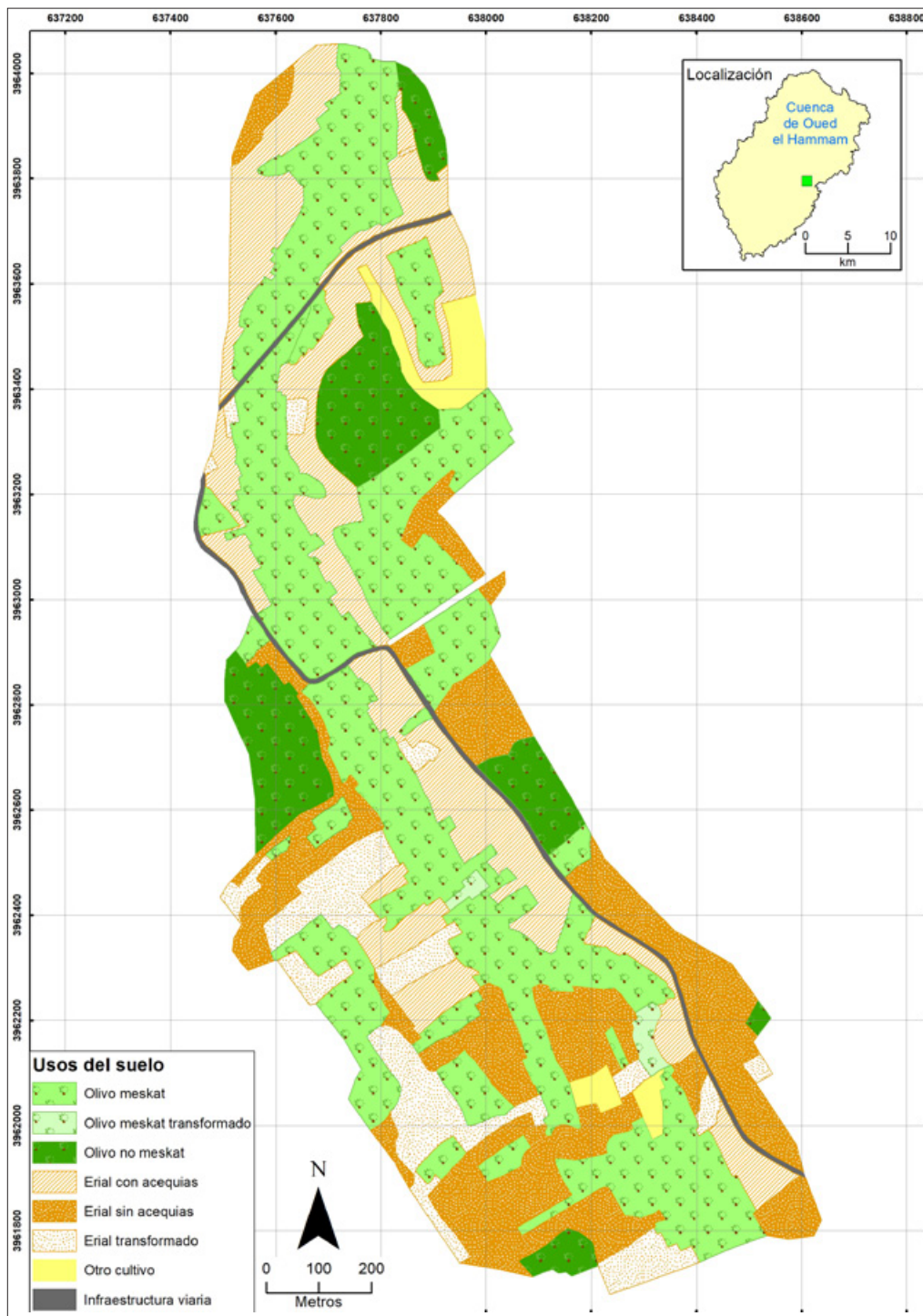


USOS DEL SUELO		
Sabbalet Dorgham	m ²	%
Erial	462651	60,6
Olivo <i>meskat</i>	288170	37,8
Otros cultivos	4215	0,6
Natural	0	0
Antrópico	8298	1,1
Total	763334	100

Erial/Olivo *meskat* 1,61

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	462651
Transformado (m ²)	60864
% Transformación	13,2

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	66,8
	Olivo <i>meskat</i>	68
"Pendiente media (%)"	Erial	6,4
	Olivo <i>meskat</i>	5,7

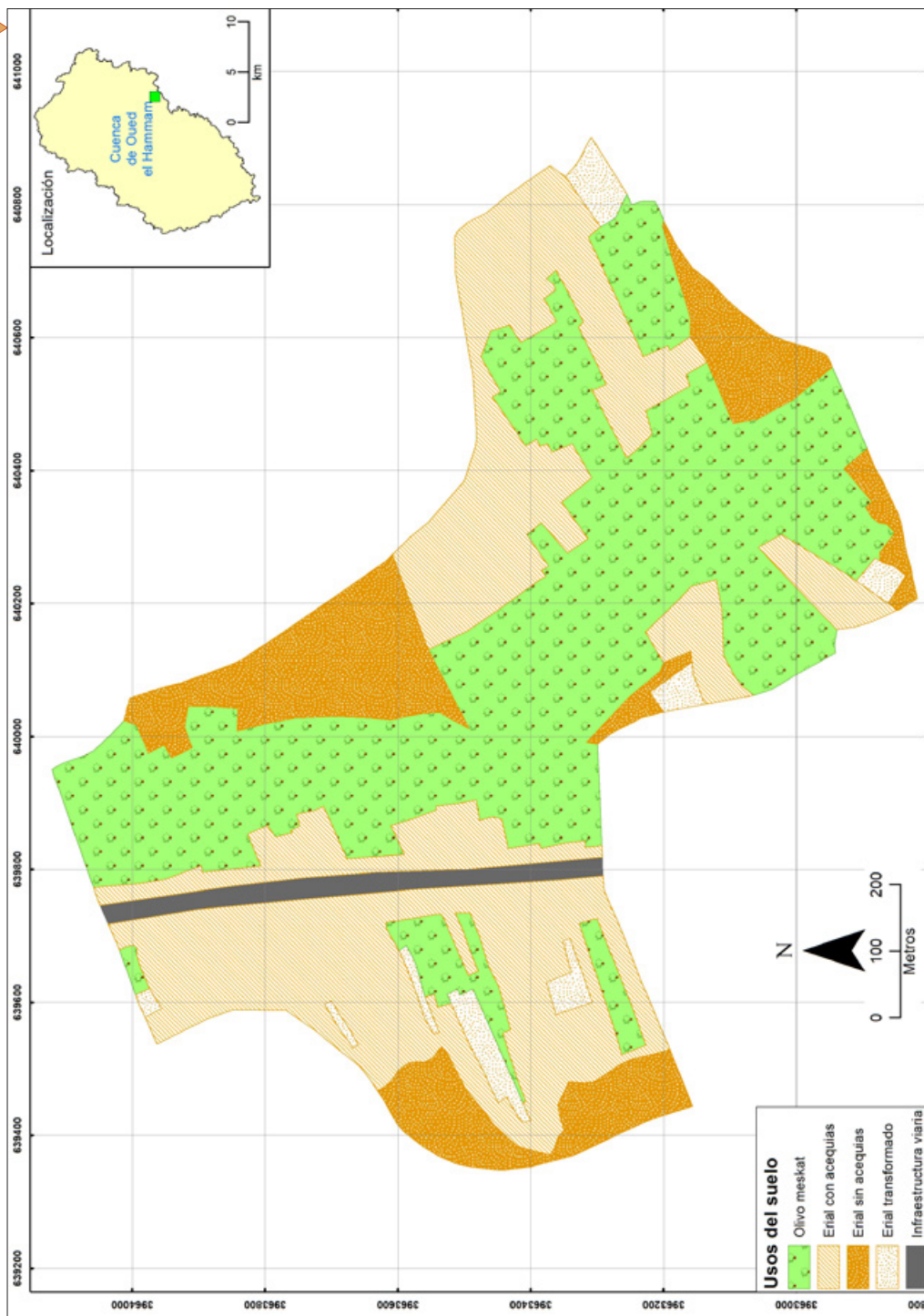


USOS DEL SUELO		
Shabit al-Talma	m ²	%
Erial	634670	47
Olivo <i>meskat</i>	530407	39,2
Otros cultivos	162956	12,1
Natural	0	0
Antrópico	23471	1,7
Total	1351504	100

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,20
---------------------------	------

TRANSFORMACIÓN ERIAL	
No transformado (m ²)	634670
Transformado (m ²)	107124
% Transformación	16,9

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		
"Altura media (m ²)"	Erial	55,2
	Olivo <i>meskat</i>	50,4
"Pendiente media (%)"	Erial	5,6
	Olivo <i>meskat</i>	4,9



USOS DEL SUELO

Shabit Oued al-Battoum	m ²	%
Erial	502258	53,5
Olivo <i>meskat</i>	413994	44,1
Otros cultivos	0	0
Natural	0	0
Antrópico	21699	2,3
Total	937951	100

TRANSFORMACIÓN ERIAL

No transformado (m ²)	502258
Transformado (m ²)	26594
% Transformación	5,3

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

"Altura media (m ²)"	Erial	48,4
	Olivo <i>meskat</i>	43,2
"Pendiente media (%)"	Erial	6,6
	Olivo <i>meskat</i>	6

Erial/Olivo <i>meskat</i>	1,21
---------------------------	------

ANEXO II.

Sistemas de aprovechamiento de fondos de valle



*Cultivo de fondo de valle en la cabecera del barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).
Fuente: Autor.*

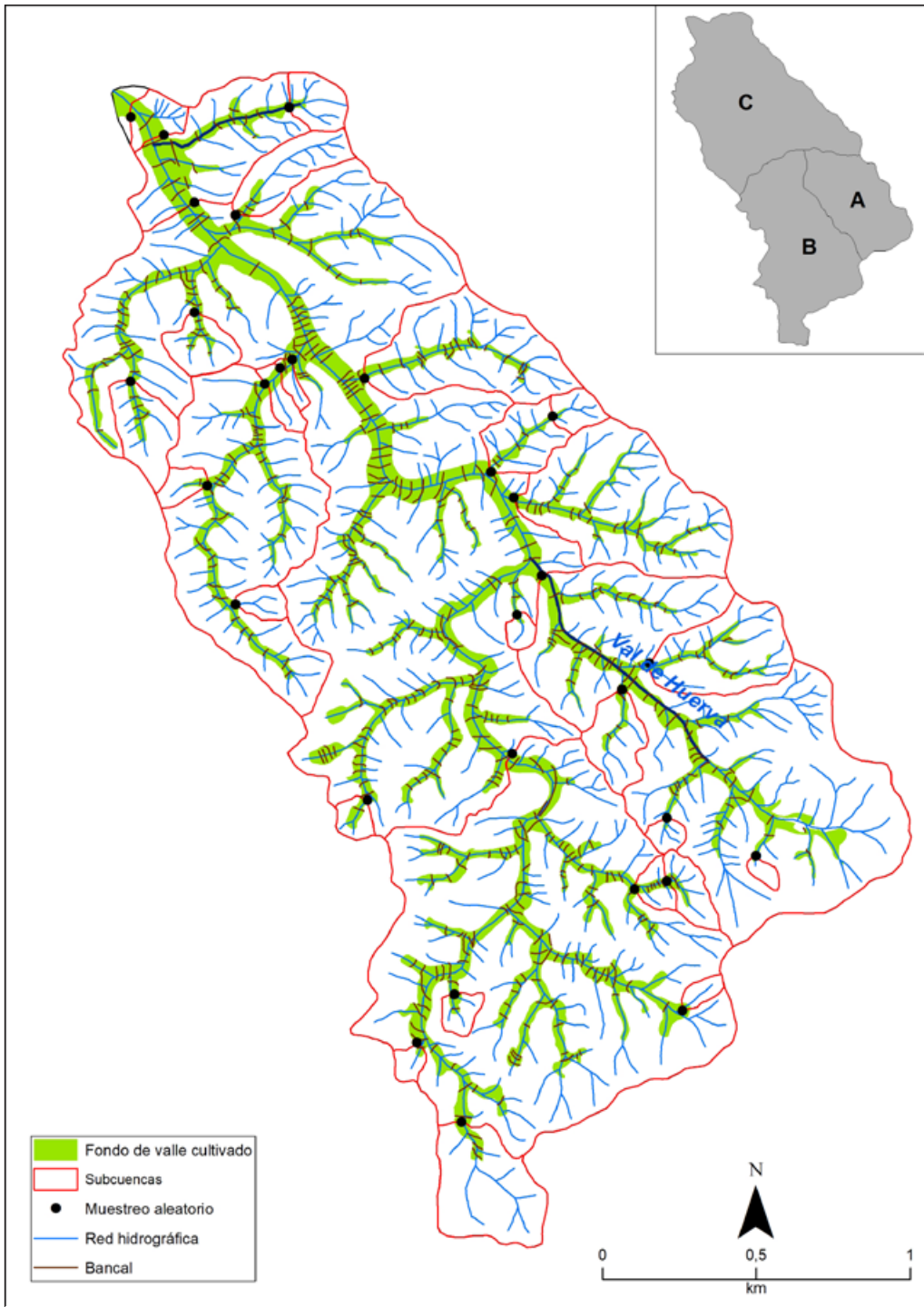


Figura: Localización de las 30 subcuencas analizadas en la cuenca de Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).
Fuente: Elaboración propia.

II-2

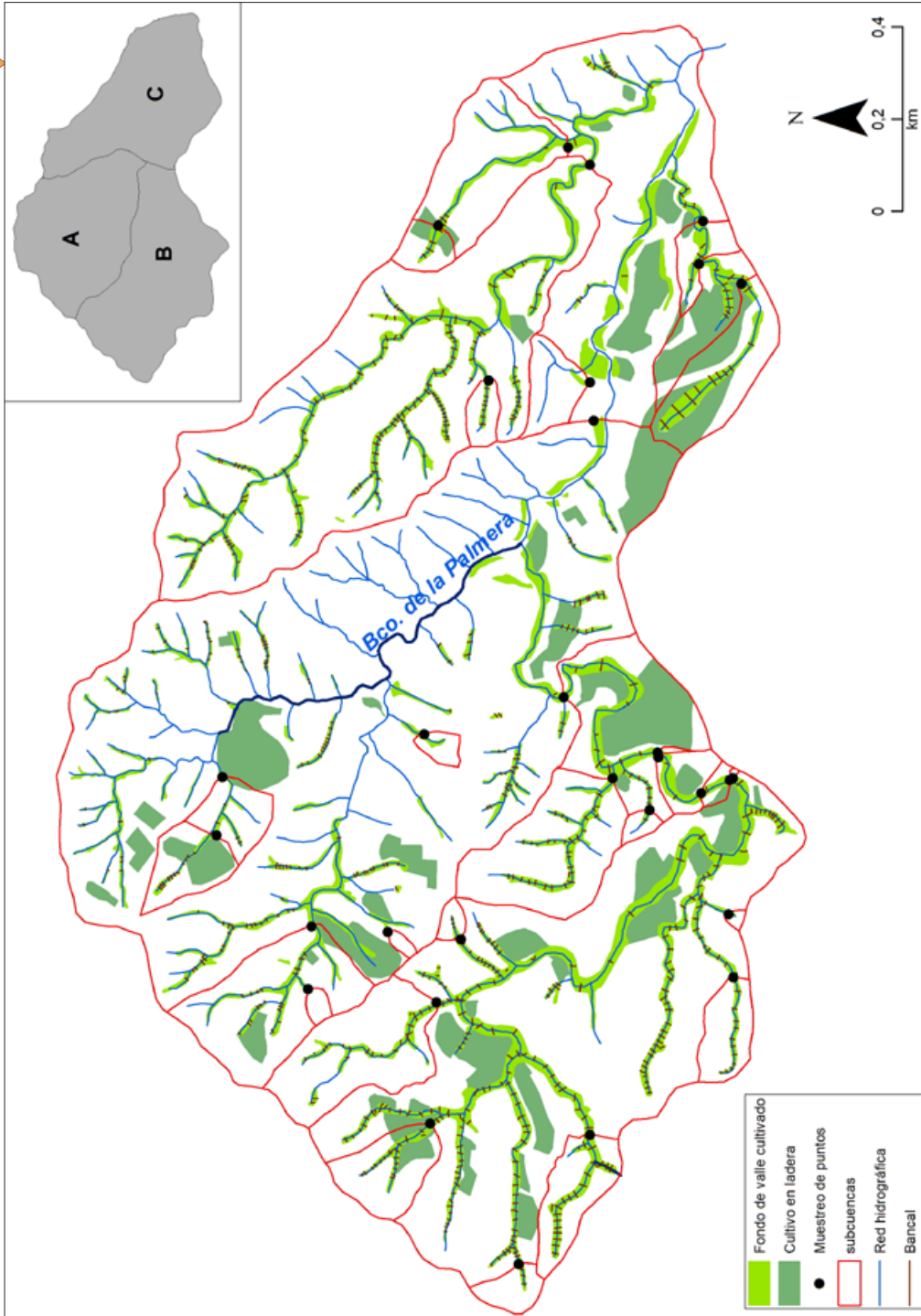


Figura: Localización de las 30 subcuencas analizadas en la cuenca del Barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).

Fuente: Elaboración propia.

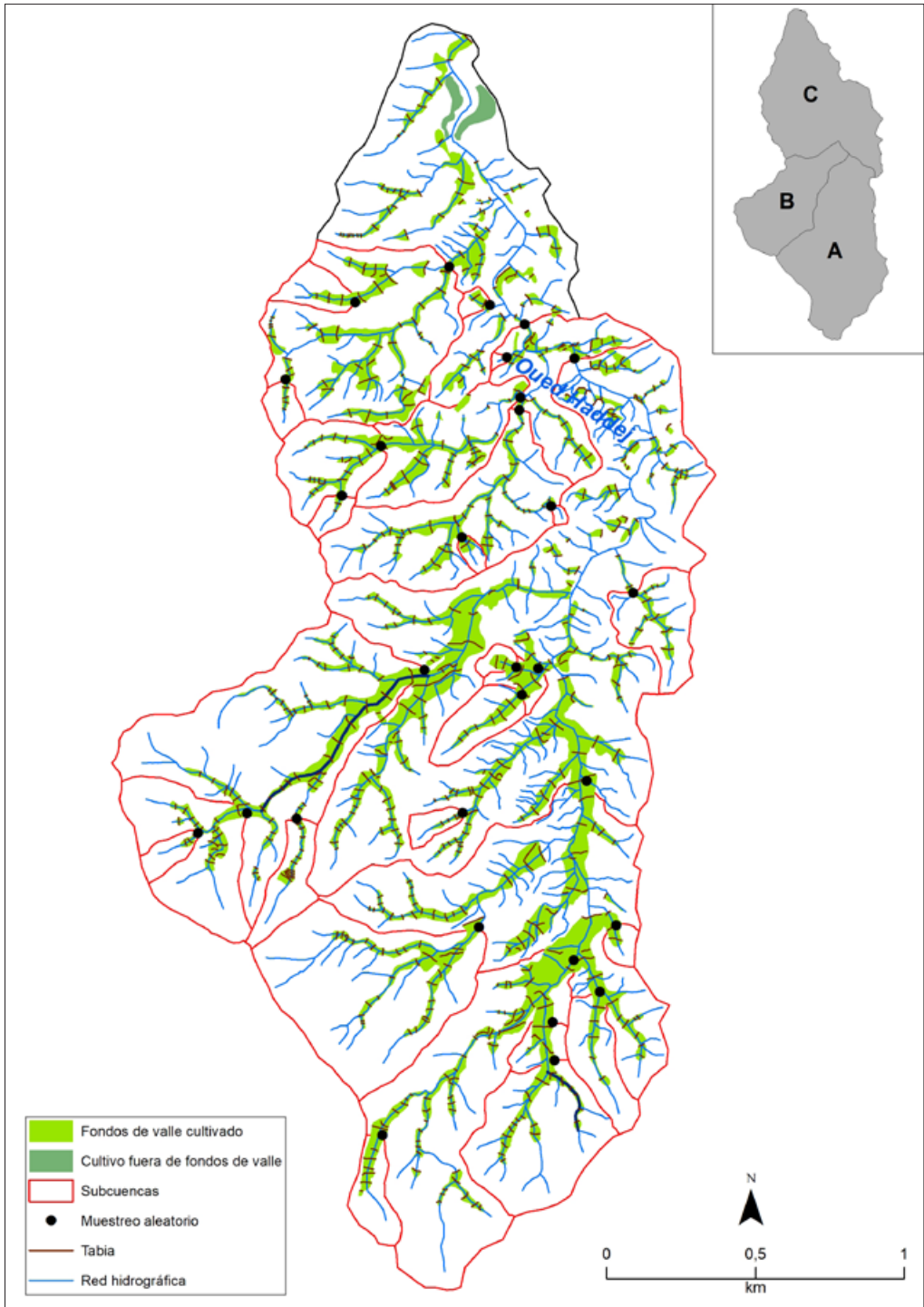


Figura: Localización de las 30 subcuencas analizadas en la cuenca Oued el Haddej (Matmata, Gabes).
Fuente: Elaboración propia.

II-4

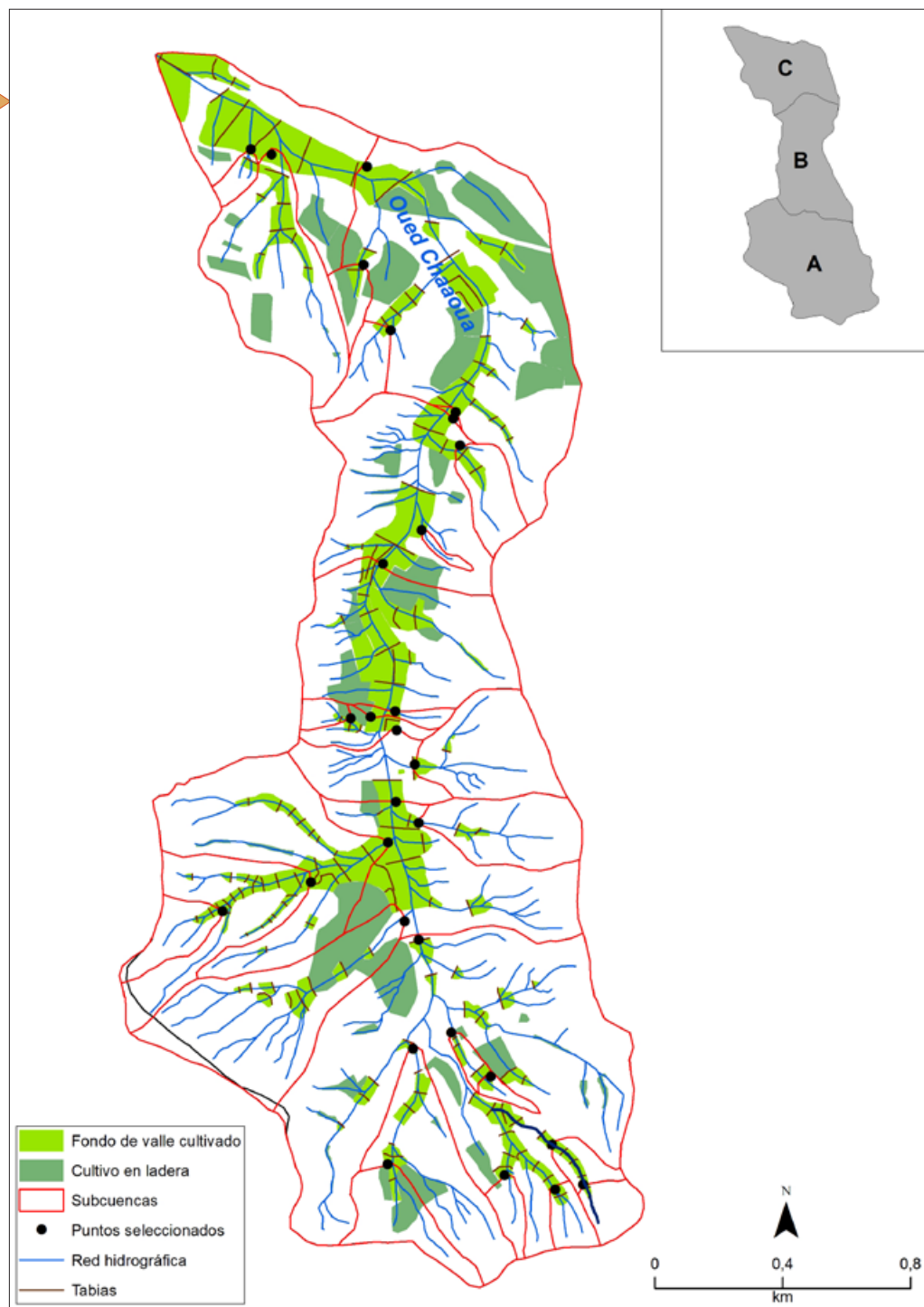


Figura: Localización de las 30 subcuencas analizadas en la cuenca de Oued Chaoua (Koutine, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

Parámetros morfológicos de los 3 sectores que conforman cada una de las 4 cuencas de los casos estudiados (Valmadrid, Albánchez, Matmata y Koutine).

Valmadrid					
		A	B	C	Total
Superficie (A)	km ²	0'91	1'69	2'31	4'92
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	14'28	25'14	38'89	78'30
Eje mayor (Lw)	km	1'56	2'24	2'54	4'06
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	15'74	14'84	16'82	15'93
Punto más alto (hmax)	m	682	697	581	697
Punto más bajo (hmin)	m	513	513	455	455
Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	169	184	126	242
Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	108'13	82'22	49'65	59'64
Albánchez					
		A	B	C	Total
Superficie (A)	km ²	0'81	0'95	0'91	2'67
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	10'75	9'85	10'61	31'27
Eje mayor (Lw)	km	1'31	1'67	1'68	2'81
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	13'26	10'37	11'62	11'70
Punto más alto (hmax)	m	696	688	640	696
Punto más bajo (hmin)	m	468	468	403	403
Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	228	220	237	293
Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	173'78	131'58	141'24	104'12
Matmata					
		A	B	C	Total
Superficie (A)	km ²	1'855	0'987	1'861	4'70
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	24'72	11'13	27'48	63'33
Eje mayor (Lw)	km	2'38	1'73	2'38	4'25
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	13'33	11'29	14'76	13'47
Punto más alto (hmax)	m	538	479	341	538
Punto más bajo (hmin)	m	285	285	226	226
Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	253	194	115	312
Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	106'21	112'07	48'36	73'39
Koutine					
		A	B	C	Total
Superficie (A)	km ²	1'69	1'02	0'88	3'60
Longitud total de la red (> 50m) (L)	km	18'31	11'34	6'72	36'37
Eje mayor (Lw)	km	1'51	1'68	1'74	4
Densidad de drenaje (L/A)	km/km ²	10'81	11'09	7'62	10'04
Punto más alto (hmax)	m	214	203	154	214
Punto más bajo (hmin)	m	136	118	98	98
Desnivel (dn) (hmax-hmin)	m	78	85	56	116
Desnivel / eje mayor (dn /lw)	m/km	51'69	50'66	32'28	29'04

Fuente: Elaboración propia.

II-6



Figura: Detalle de bancales no cultivados en la cabecera en la cuenca de la Val de Huerva en Valmadrid, Zaragoza.

Fuente: Elaboración propia.



Figura: Dirección de los flujos en algunos bancales en la cuenca de la Val de Huerva (Valmadrid, Zaragoza).
Fuente: Elaboración propia.

II-8



Figura: Detalle de algunos bancales en la cabecera de la cuenca del barranco de la Palmera en Albánchez, Almería.

Fuente: Elaboración propia.



Figura: Detalle de los cultivos en el lecho del Barranco de la Palmera (Albánchez, Almería).

Fuente: Elaboración propia.

II-10



Figura: Aprovechamiento de las aguas concentradas fuera del cauce, *mgoud* o boqueras, en la desembocadura de la cuenca de oued el Haddej, Matmata, Túnez.

Fuente: Elaboración propia.



Figura: Detalle de un sector degradado con cárcavas y *badlands* en la cuenca de Oued el Haddej (Matmata, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

II-12

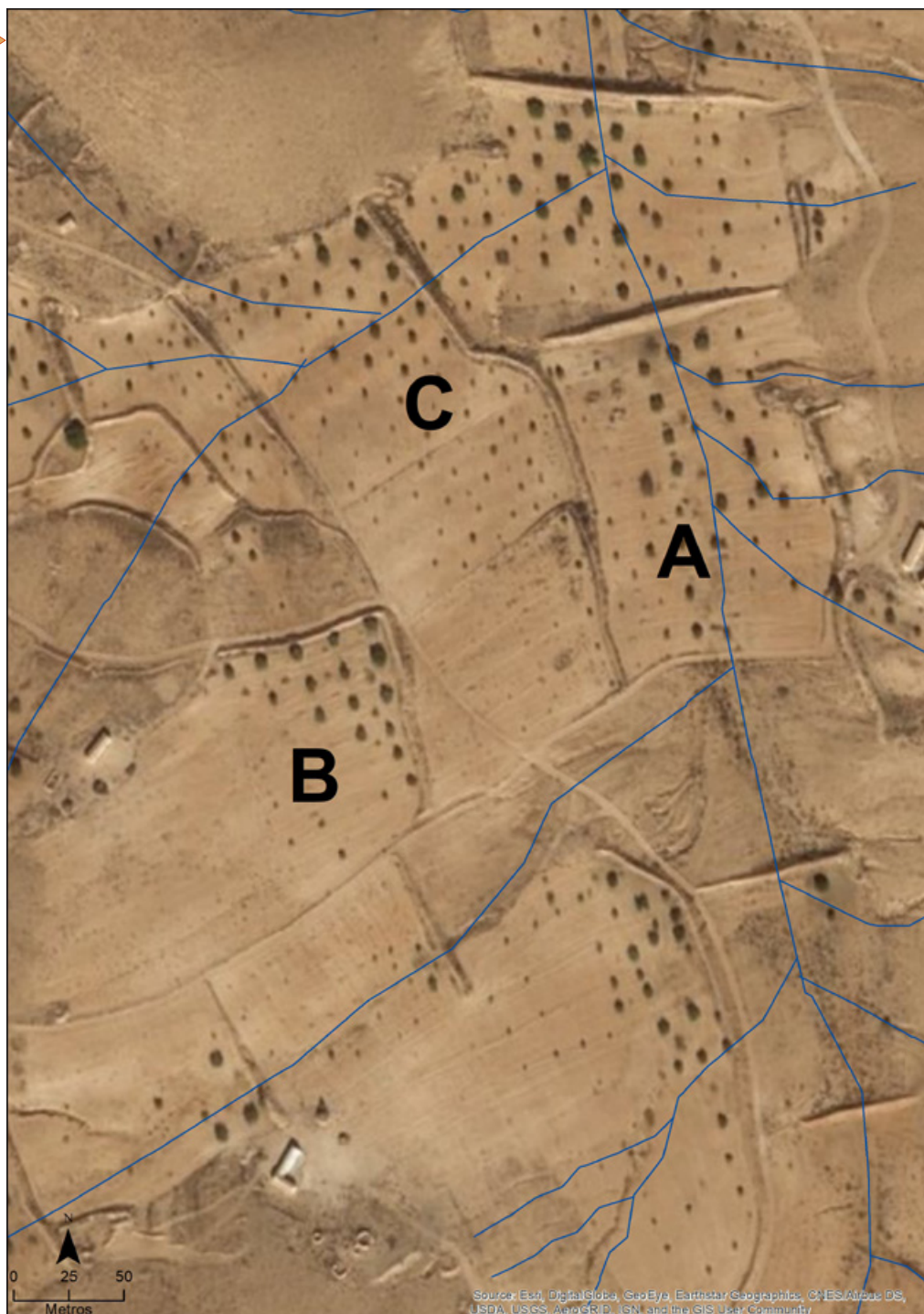


Figura: Combinación de las *tabias* (B y C) con los *jessour* (A) de fondo de valle en la cuenca de Chaoua en Koutine, Medenine, Túnez.

Fuente: Elaboración propia.



Figura: Detalle de bancales sin olivo o con olivo en la parte más baja de los mismos en la cuenca de Oued Chaoua (Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros de superficie cultivada y de bancales en los 3 sectores que conforman cada una de las 4 cuencas de los casos estudiados (Valmadrid, Albánchez, Matmata y Koutine).

II-14

Valmadrid					
		A	B	C	Total
Superficie	km ²	0'91	1'69	2'31	4'92
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'13	0'35	0'47	0'95
Nº de bancales	n	72	183	220	475
Longitud de bancales	m	2.417	7.159	8.882	18.458
Longitud media bancales	m/n	33'6	39'1	40'4	38'9
Superficie media de bancal	m ²	1.873	1.896	2.119	1.996
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	14'86	20'48	20'17	19'28
Albánchez					
		A	B	C	Total
Superficie	km ²	0'81	0'95	0'91	2'67
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'06	0'15	0'12	0'33
Nº de bancales	n	137	363	201	701
Longitud de bancales	m	939	3.856	2.166	6.960
Longitud media bancales	m	6'9	10'6	10'8	9'9
Superficie media de bancal	m ²	420	414	598	468
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	7'11	15'82	13'17	12'28
Matmata					
		A	B	C	Total
Superficie	km ²	1'86	0'99	1'86	4'70
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'36	0'19	0'32	0'87
Nº de bancales	n	238	138	297	673
Longitud de bancales	m	7.129	3.695	7316	18.141
Longitud media bancales	m	30	26'8	24'6	27'0
Superficie media de bancal	m ²	1.513	1.362	1.077	1.292
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	19'41	19'06	17'19	18'49
Koutine					
		A	B	C	Total
Superficie	km ²	1'69	1'02	0'88	3'60
Superficie cultivada en fondo de valle	km ²	0'19	0'17	0'19	0'55
Nº de bancales	n	90	39	32	161
Longitud de bancales	m	3.831	2.195	2.136	8.163
Longitud media bancales	m	42'6	56'3	66'8	50'7
Superficie media de bancal	m ²	2.156	4.282	5.781	3.398
% Superficie cultivada en fondo de valle	%	11'46	16'34	20'99	15'11

Fuente: Elaboración propia.

Superficie (en m²) y porcentaje de los cultivos en las 30 subcuencas analizadas en cada una de las 4 cuencas de los casos estudiados (Valmadrid, Albánchez, Matmata y Koutine).

"Subcuencas"	Superficie de cultivo en subcuencas											
	Valmadrid		Albánchez		Matmata		Koutine		% Superficie cultivada respecto a la de captación			
	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Valmadrid	Albánchez	Matmata	Medenine
1	897.773'58	132.462'97	651.074'49	104.689'15	14.184'02	1.080'73	65.070'26	2.781'79	14'75	16'08	7'62	4'28
2	34.091'88	5.530'37	66.237'10	7.058'05	3.848.591'69	716.460'18	13.108'66	1.998'91	16'22	10'66	18'62	15'25
3	54.113'08	4.560'73	391.971'33	56.009'93	610.401'87	91.787'67	19.369'60	5.948'86	8'43	14'29	15'04	30'71
4	413.093'69	65.763'00	74.505'77	10.019'54	47.442'53	5.493'10	1.847.979'18	204.548'32	15'92	13'45	11'58	11'07
5	26.149'06	3.230'94	3.306'22	30'85	2.762'58	10'91	192.741'55	26.850'51	12'36	0'93	0'39	13'93
6	6.523'79	266'97	30.609'46	7.355'64	13.349'76	2.597'63	46.621'23	6.210'77	4'09	24'03	19'46	13'32
7	41.146'02	6.724'92	4.049'24	390'06	3.251.567'81	597.911'62	210.965'19	14.079'34	16'34	9'63	18'39	6'67
8	14.583'79	2.144'66	664.865'57	108.538'62	336.784'33	77.091'88	49.091'34	5.928'93	14'71	16'32	22'89	12'08
9	9.223'14	589'47	10.683'86	681'94	59.983'13	8.519'39	28.387'97	803'41	6'39	6'38	14'20	2'83
10	65.173'16	8.950'53	4.165'72	487'22	14.989'11	1.794'85	2.072.368'13	222.190'51	13'73	11'70	11'97	10'72
11	421.047'31	67.780'87	665.598'17	108.733'47	99.310'61	18.598'16	2.330.283'32	287.946'55	16'10	16'34	18'73	12'36
12	103.159'78	15.193'02	820.104'73	133.651'75	46.206'93	9.139'38	21.809'73	3.123'28	14'73	16'30	19'78	14'32
13	29.169'35	1.712'53	43.968'03	4.244'61	1.398.255'18	249.404'15	2.617.434'53	342.832'77	5'87	9'65	17'84	13'10
14	109.343'86	5.141'22	2.007'50	2'97	197.436'69	28.008'38	91.813'45	3.171'36	4'70	0'15	14'19	3'45
15	14.477'56	67'08	47.073'77	8.924'56	27.940'01	4.965'01	2.083.575'28	224.356'48	0'46	18'96	17'77	10'77

Superficie de cultivo en subcuencas

"Subcuencas"	Valmadrid		Albánchez		Matmata		Medenine		% Superficie cultivada respecto a la de captación			
	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Superficie	Superficie cultivada	Valmadrid	Albánchez	Matmata	Medenine
16	4.904.047'35	943.578'82	8.680'45	1.302'87	158.386'56	16.851'26	5.344'34	228'18	19'24	15'01	10'64	4'27
17	229.312'13	40.228'12	73.498'90	9.853'44	38.743'26	7.504'19	2.032.657'40	214.591'16	17'54	13'41	19'37	10'56
18	397.695'23	62.921'93	10.936'53	1.549'02	75.961'30	11.252'43	112.343'88	3.648'61	15'82	14'16	14'81	3'25
19	4.880.020'03	934.688'19	75.102'94	13.328'48	10.187'41	3.615'21	192.871'31	14.405'50	19'15	17'75	35'49	7'47
20	9.820'06	869'45	24.060'85	1.860'41	2.272'42	129'67	3.219.430'88	428.740'66	8'85	7'73	5'71	13'32
21	49.685'55	6.766'44	21.168'16	2.704'99	7.688'81	2.294'16	160.139'01	25.243'37	13'62	12'78	29'84	15'76
22	9.309'65	470'31	5.436'39	735'48	304.833'38	32.804'92	22.749'41	2.609'86	5'05	13'53	10'76	11'47
23	163.377'59	20.746'24	646.546'96	103.178'31	592.324'02	98.504'84	12.234'50	779'73	12'70	15'96	16'63	6'37
24	14.436'06	1.625'54	88.928'54	16.772'63	232.755'49	53.073'27	2.619.173'73	344.224'93	11'26	18'86	22'80	13'14
25	1.177.977'10	224.175'47	646.866'23	103.265'98	73.470'18	22.039'57	36.943'77	1.329'52	19'03	15'96	30'00	3'60
26	10.636'57	568'17	30.881'44	3.577'65	7.190'18	2.344'21	398.632'86	61.331'00	5'34	11'59	32'60	15'39
27	18.635'80	811'22	1.873.669'55	214.752'57	17.527'66	1.510'22	37.901'77	2.674'14	4'35	11'46	8'62	7'06
28	13.643'42	3.545'33	78.993'57	8.621'51	17.899'69	1.776'28	18.455'42	315'82	25'99	10'91	9'92	1'71
29	45.492'64	5.463'08	19.192'31	559'03	173.469'84	19.320'50	8.691'44	1.579'88	12'01	2'91	11'14	18'18
30	4.700.659'97	888.577'34	1.339'79	164'77	238.869'99	41.548'73	953.342'69	74.877'77	18'90	12'30	17'39	7'85

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO III.

Sistemas de derivación de aguas concentradas



*Oasis de Ksar el Halouf (Benikhdech-Medenine).
Foto: Autor.*

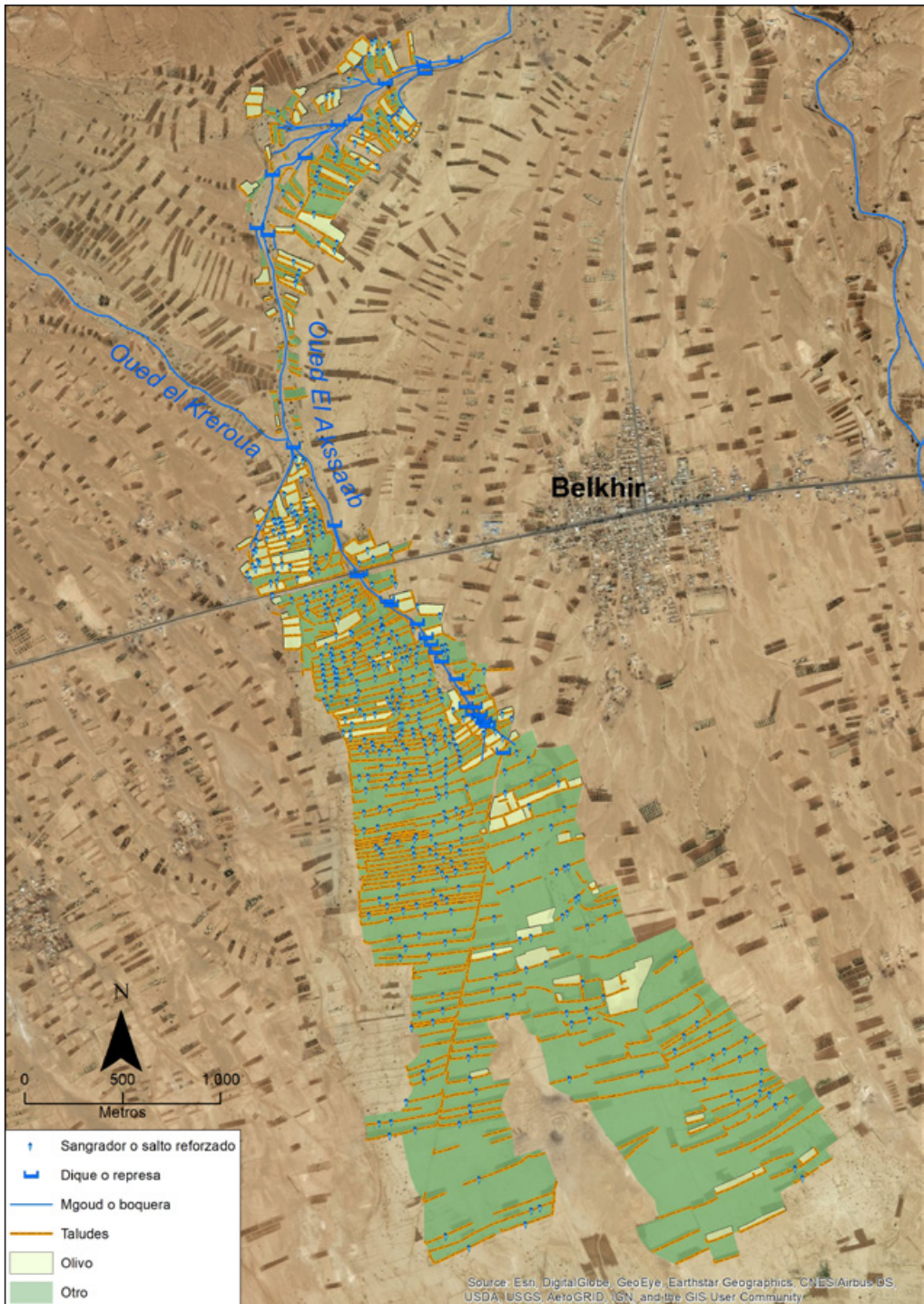


Figura: El aprovechamiento de las aguas concentradas en Oued el Akssaab “mgoud” (Belkhir, Gafsa).
Fuente: Elaboración propia.

III-2



Figura: El aprovechamiento de las aguas concentradas en la parte alta de Oued el Akssaab “mgoud” (Belkhir, Gafsa).

Fuente: Elaboración propia.

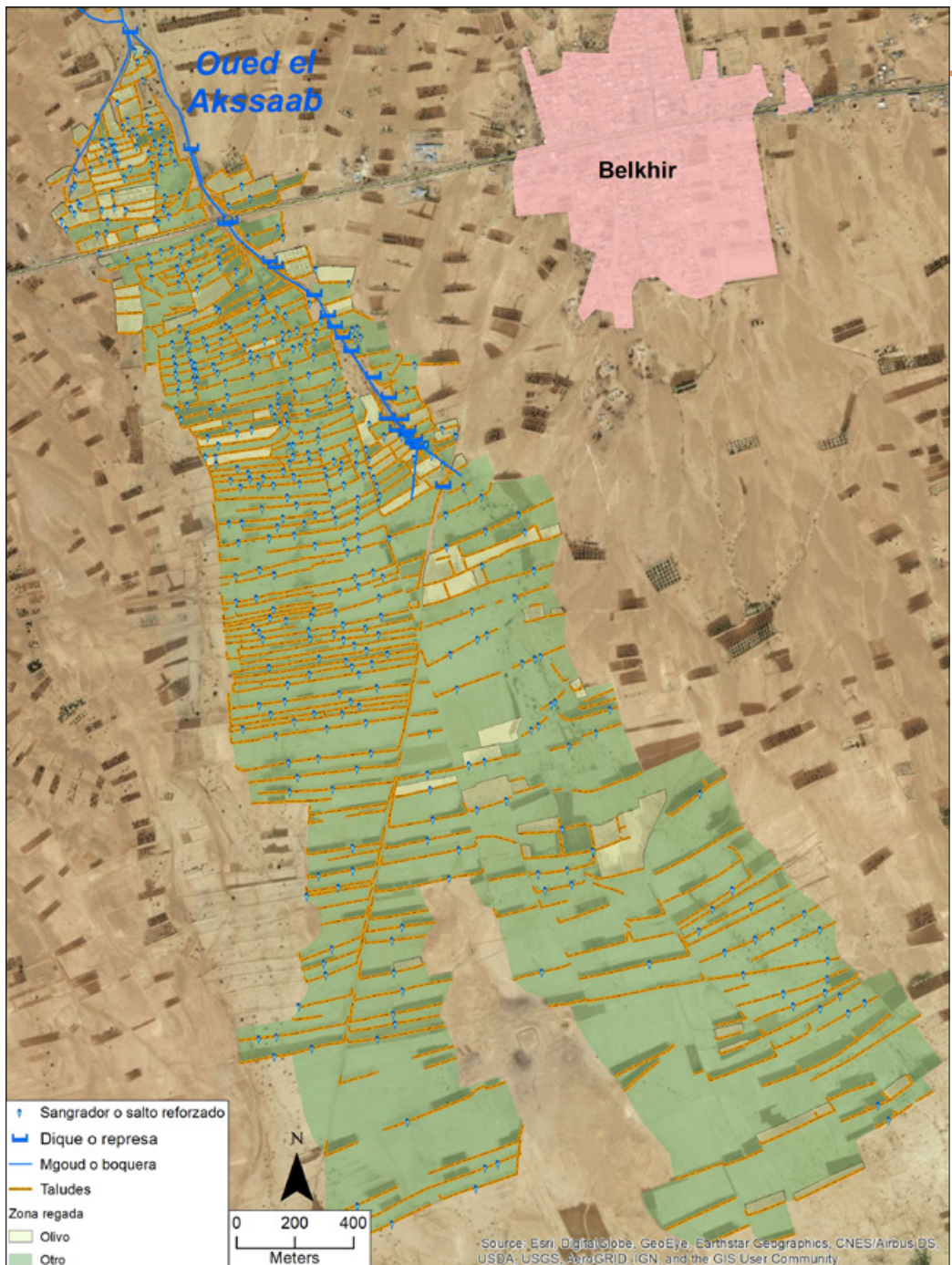


Figura: El aprovechamiento de las aguas concentradas en la parte baja de Oued el Akssaab “mgoud” (Belkhir, Gafsa).

Fuente: Elaboración propia.

III-4

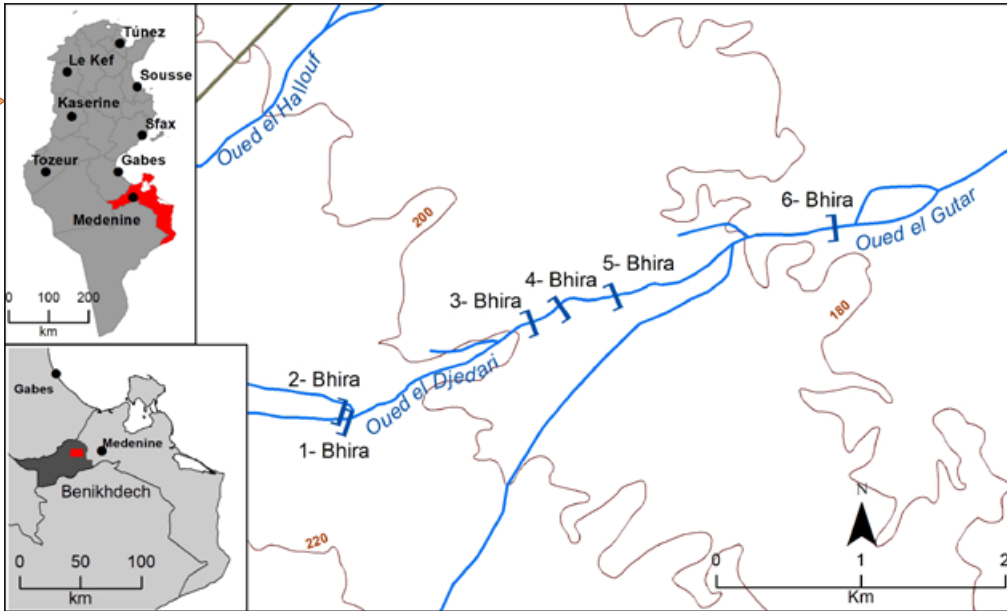


Figura: Localización de los mgoud en Bhira (Benikhdech, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

III-5

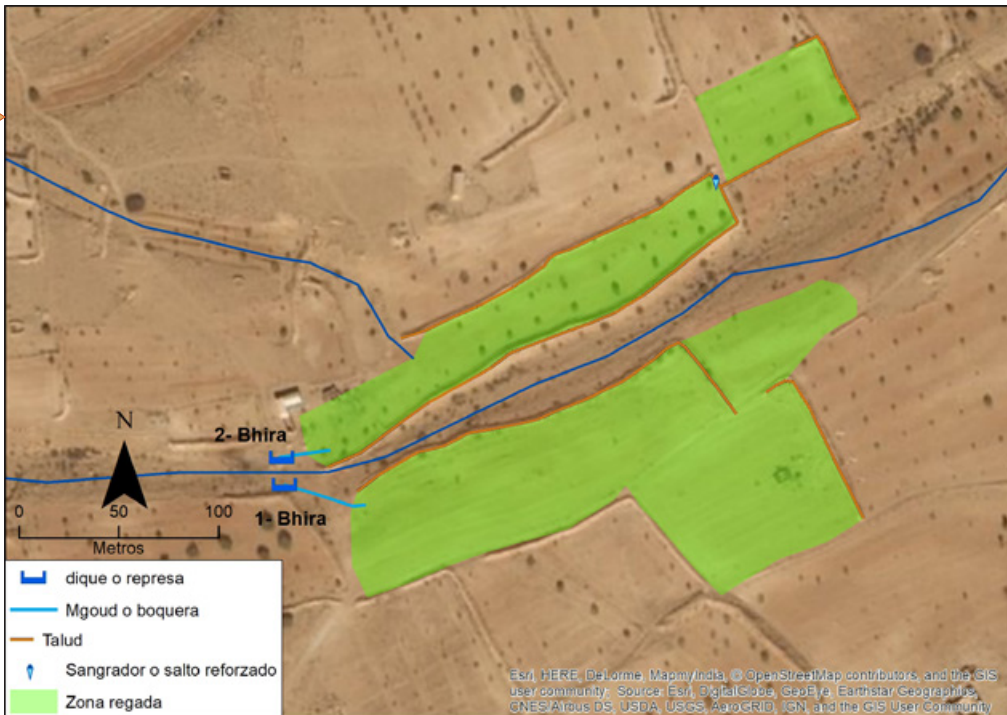


Figura: Localización de los mgoud 1 y 2 de Bhira (Benikhdech, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

III-6

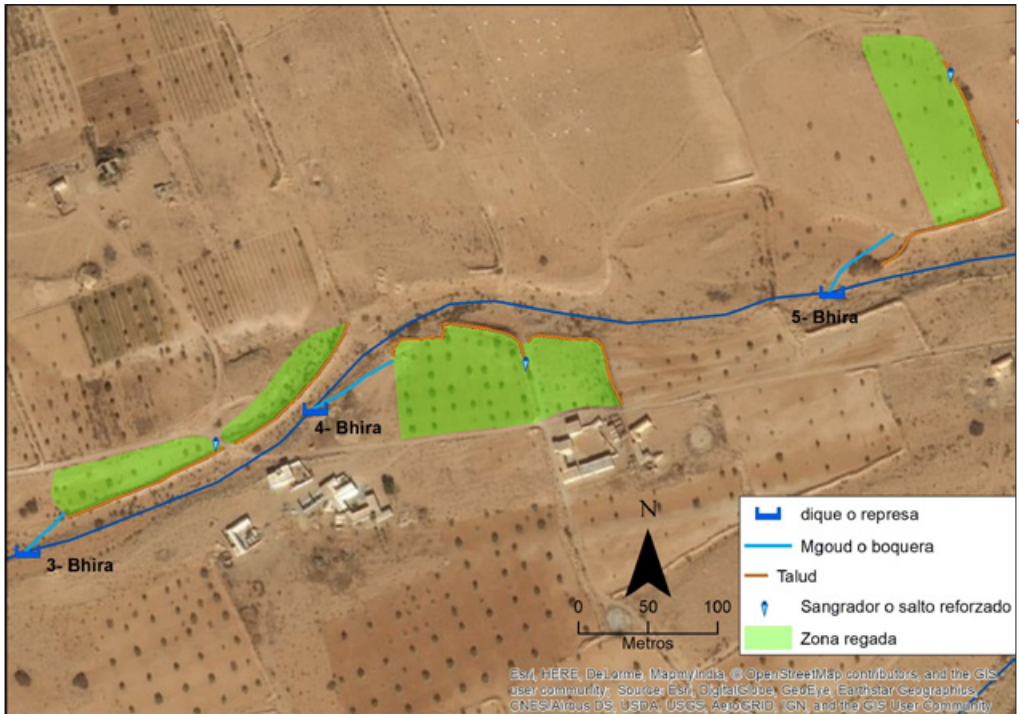


Figura: Localización de los *mgoud* 3, 4 y 5 de Bhira (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-7



Figura: Localización del *mgoud* 6 de Bhira (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-8

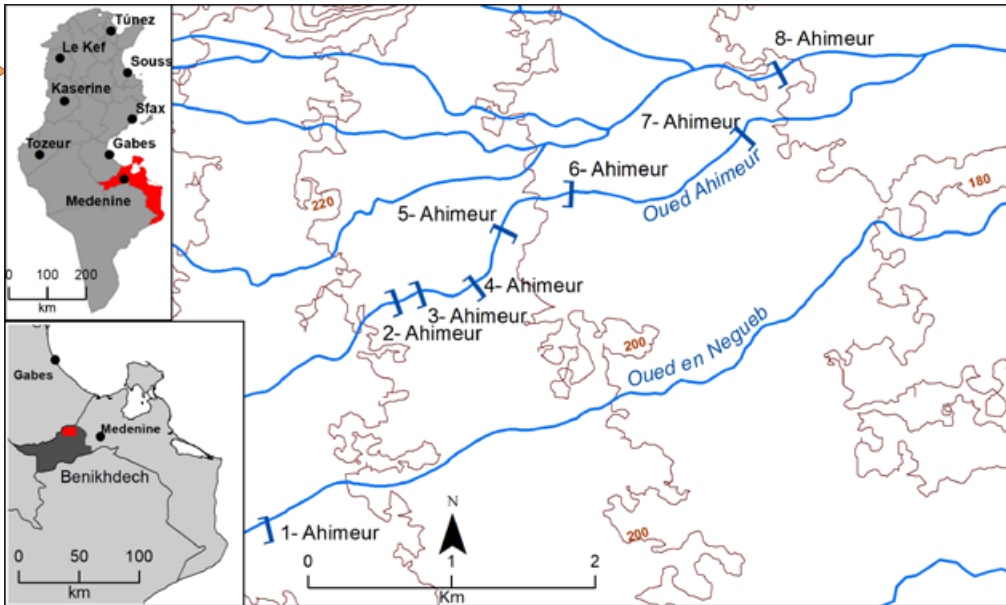


Figura: Localización de los *mgoud* en Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-9



Figura: Localización del *mgoud* 1 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-10

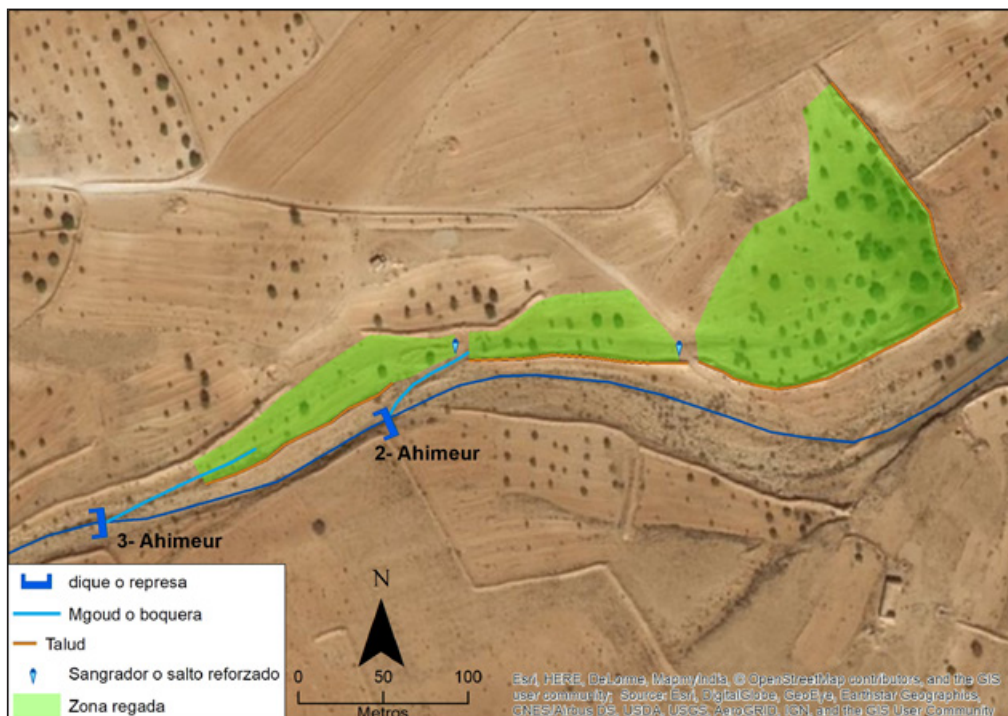


Figura: Localización de los *mgoud* 2 y 3 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-11

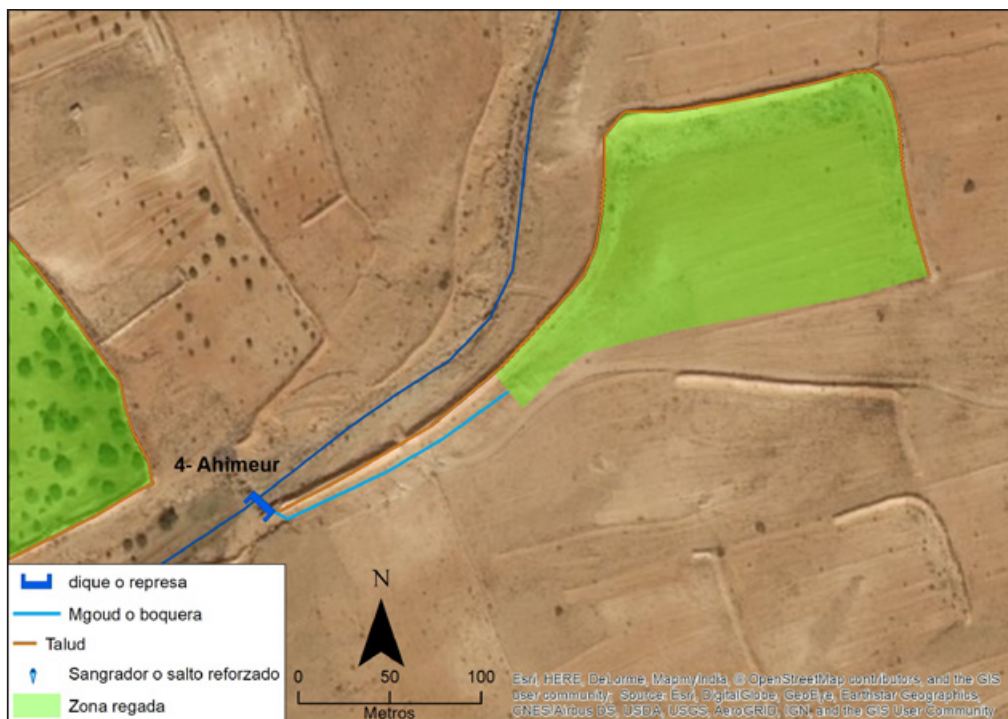


Figura: Localización del *mgoud* 4 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-12



Figura: Localización del mgoud 5 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

III-13



Figura: Localización del mgoud 6 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).
Fuente: Elaboración propia.

III-14

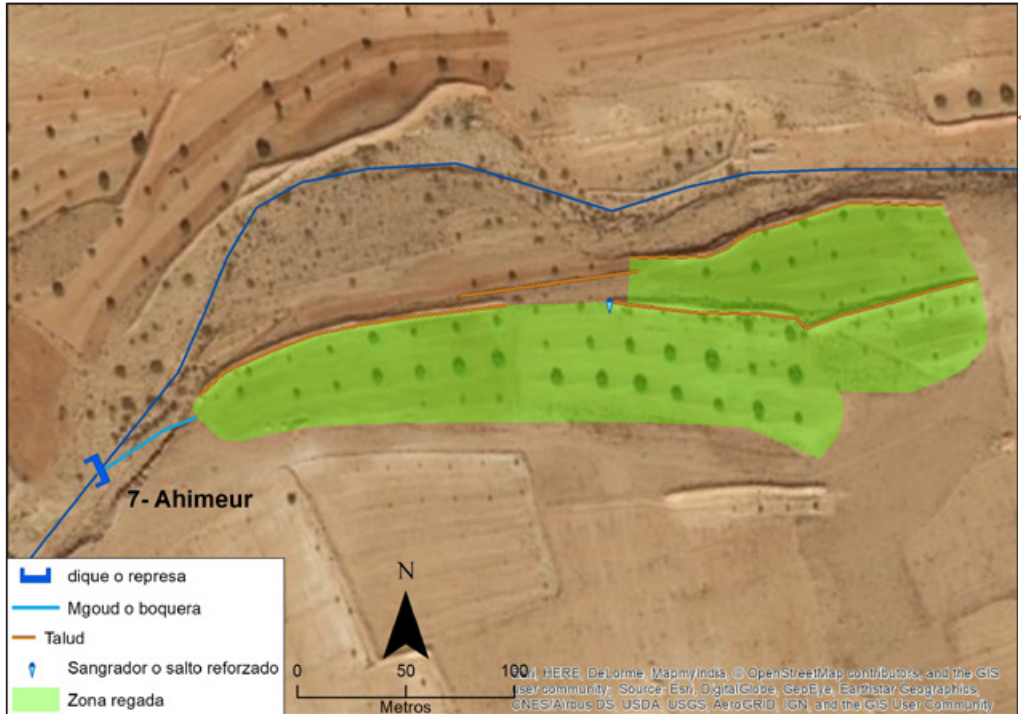


Figura: Localización del *mgoud* 7 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-15

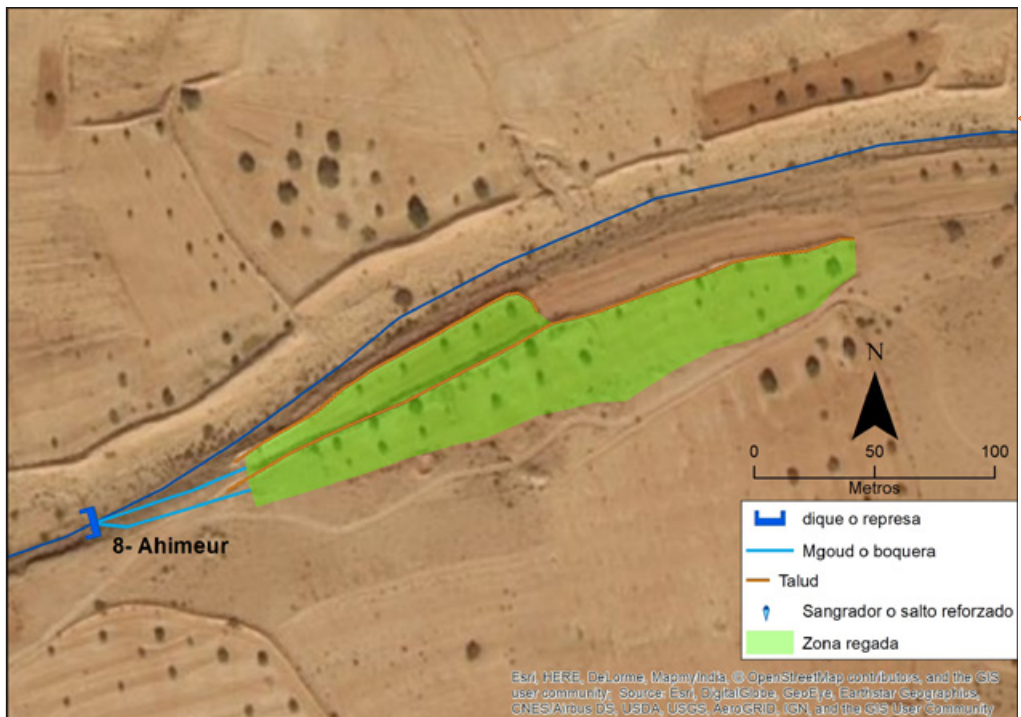


Figura: Localización del *mgoud* 8 de Ahimeur (Benikhdech, Medenine).

Fuente: Elaboración propia.

III-16

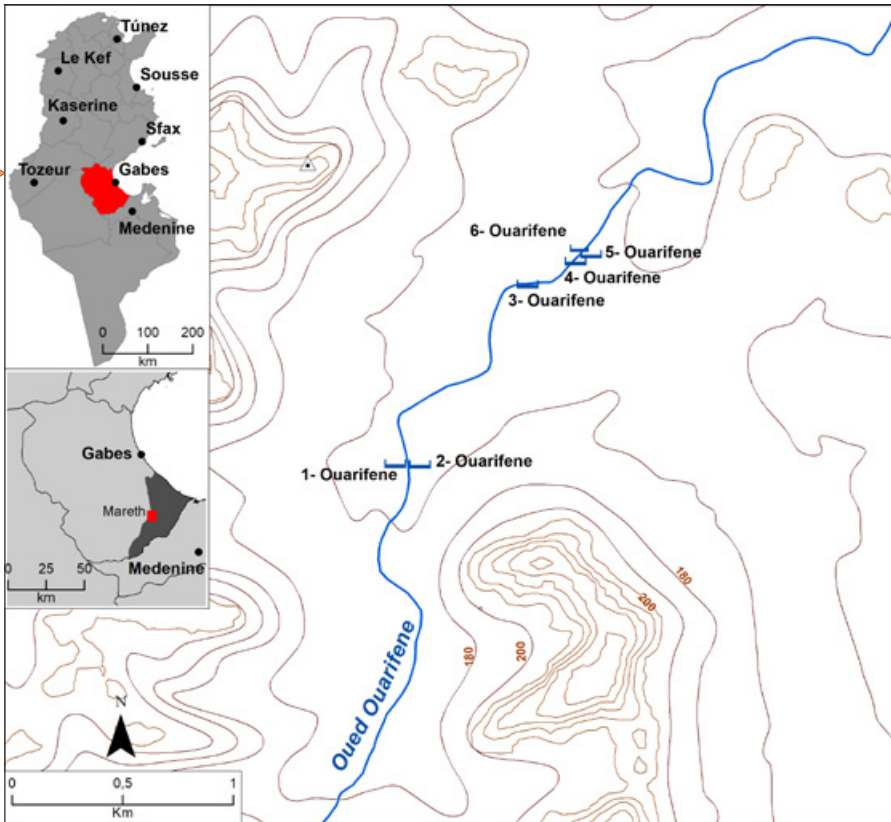


Figura: Localización de los mgoud en Ouarifene (Mareth, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

III-17



Figura: Localización de los mgoud 1 y 2 de Ouarifene (Mareth, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

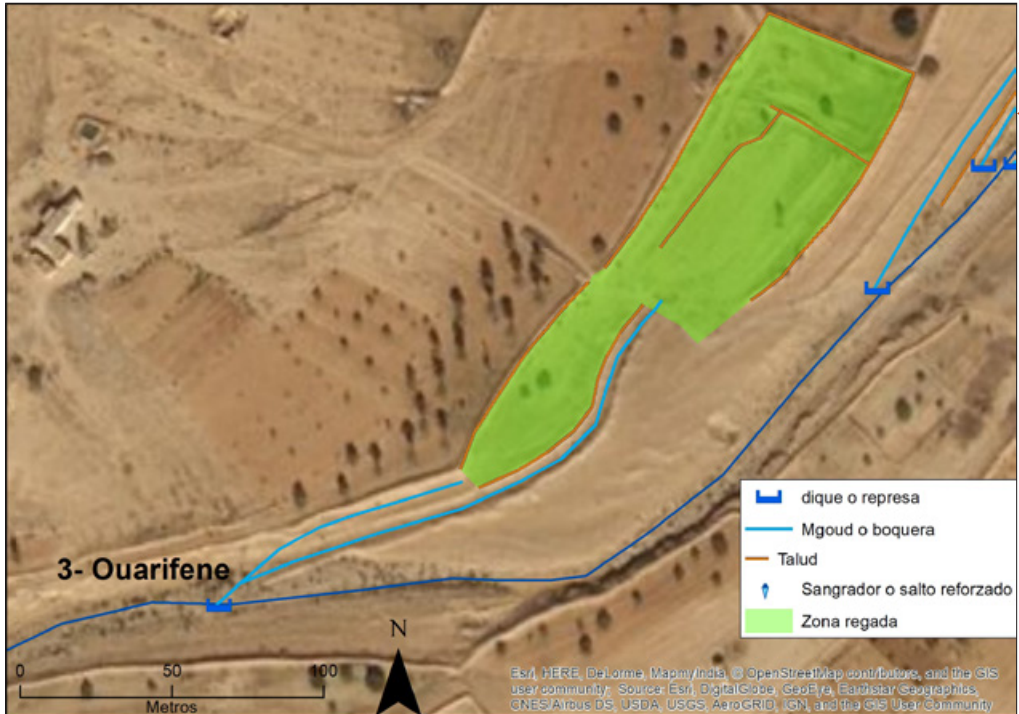


Figura: Localización del *mgoud* 3 de Ouarifene (Mareth, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

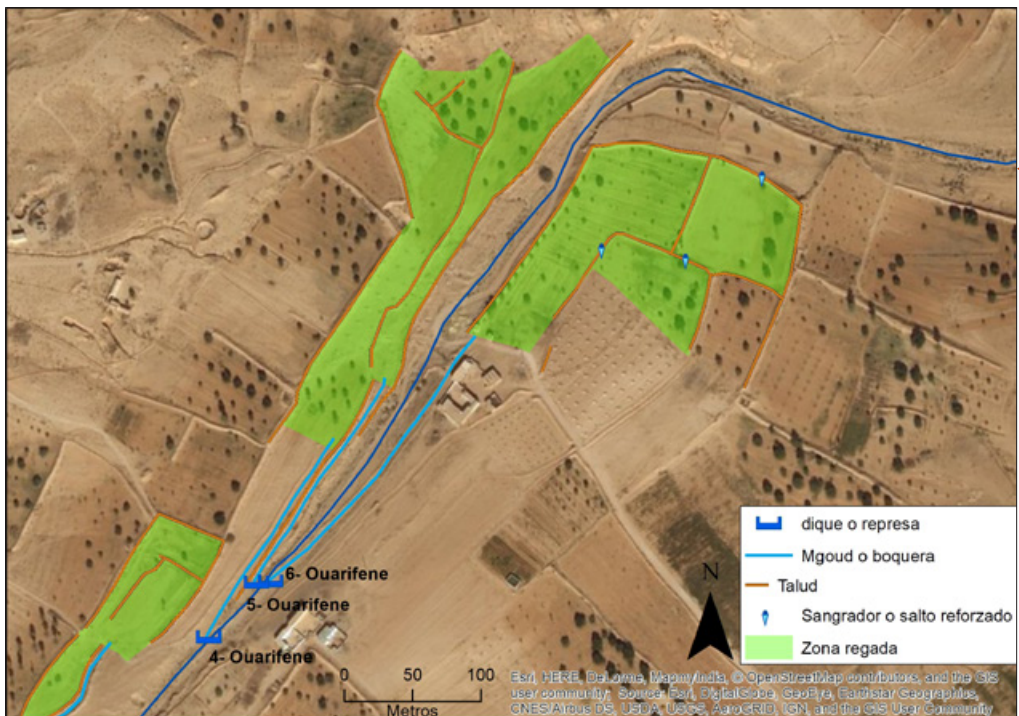


Figura: Localización de los *mgoud* 4, 5 y 6 de Ouarifene (Mareth, Gabes).

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO IV.

Temperatura y precipitaciones en Túnez



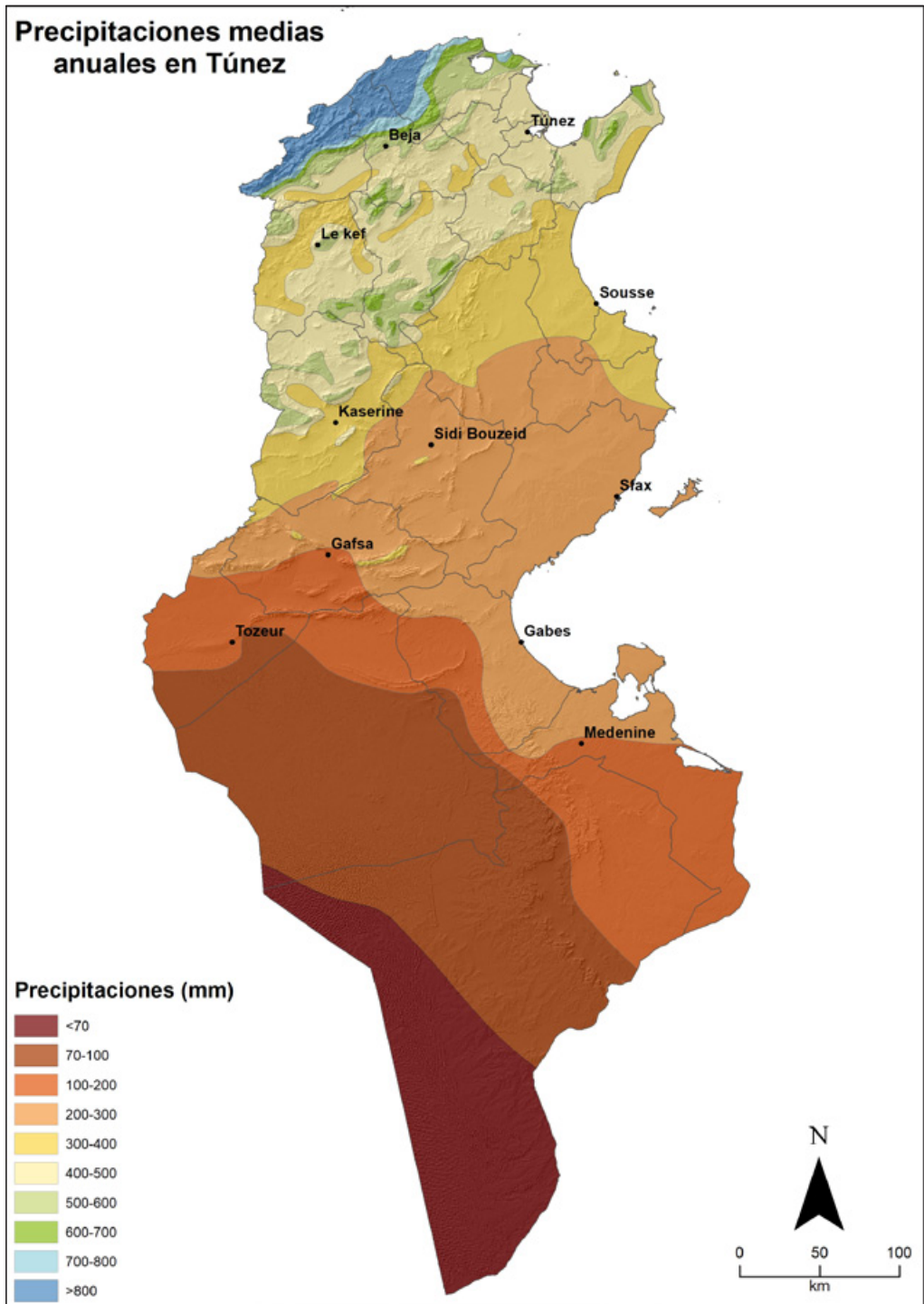


Figura: Mapa de las precipitaciones medias anuales en Túnez.

Fuente: Elaboración propia, a partir de El Melki (2008, p.16).

IV-2

Temperatura media anual en Túnez

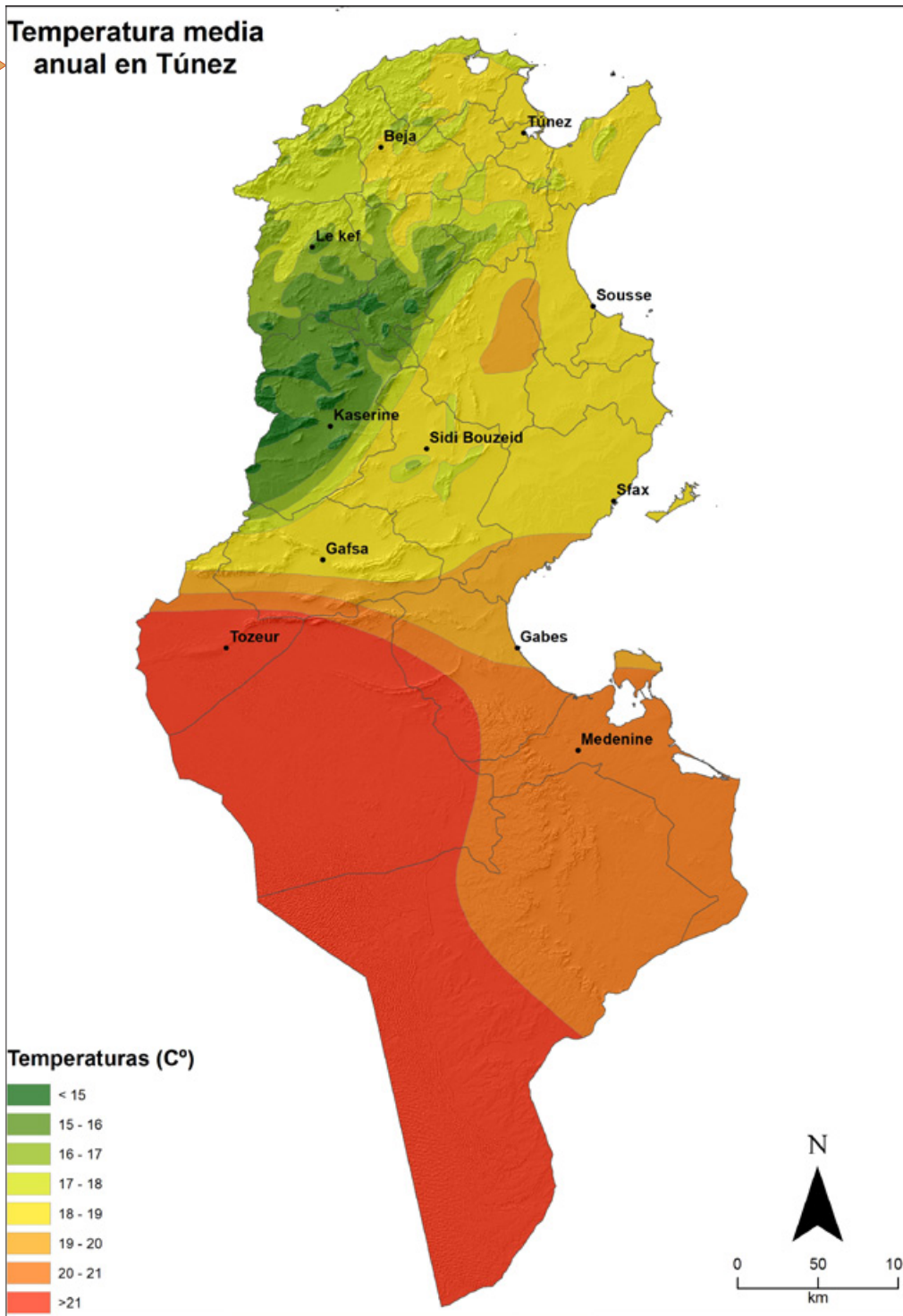


Figura: Mapa de la temperatura media anual en Túnez.

Fuente: Elaboración propia, a partir de El Melki y Charabi (2008, p.32).



VNIVERSITAT
D^e VALÈNCIA