



# Geomorfología y procesos actuales



**Yolanda Cantón\* & Albert Solé\*\***

\* DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

\*\* ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE ZONAS ÁRIDAS. CSIC. ALMERÍA





## INTRODUCCIÓN

Aspecto general de un sector del «malpais» de los Subdesiertos de Almería

Los rasgos más fácilmente visibles de esta región son sin duda de tipo geomorfológico. Contribuye a esta percepción el hecho de que una gran parte del territorio tiene una escasa cobertura vegetal, si bien de gran interés (ver los capítulos de flora, fitosociología, vegetación actual, adaptaciones y fitocenosis), lo que permite apreciar toda la magnitud del roquedo y sus formas.



La espectacular belleza de este paisaje encierra un auténtico museo de formas del relieve que indican una amplia variedad de procesos geomorfológicos que se producen en distintas magnitudes de espacio y de tiempo. Las áreas intensamente acaravadas, conocidas como *malpais* o *badlands* (en inglés), son consideradas como laboratorios naturales que ofrecen en miniatura y en intervalos de tiempo cortos muchos de los procesos y formas de los paisajes fluviales normales, incluyendo todos los tipos de ladera, sus redes de drenaje y sedimentos asociados como si se tratara de auténticas montañas

con sus collados, rellanos, cauces y pedimentos.-

Relieve tabular en «El Cautivo»

La topografía general de la zona a escala de kilómetro o decenas de kilómetros se debe a factores geológicos que han actuado durante los últimos millones de años. En cambio la topografía de detalle, a escala de metros, decenas o centenas de metros, se



debe a procesos erosivos del clima más árido de Europa (ver capítulo de clima) sobre una litología blanda de margas yesíferas sobre las se disponen capas más duras de calcarenitas y microconglomerados.

En los siguientes apartados se hace una revisión somera de las principales formas del relieve y sus procesos generadores.



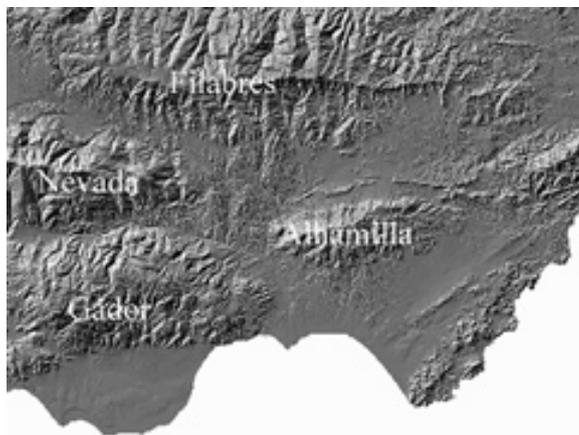
## RASGOS MORFOESTRUCTURALES Y FISIAGRÁFICOS DE GRAN ESCALA

Como se explica en el capítulo de geología, el área de estudio constituye una unidad morfoestructural bien definida, la depresión de Canjáyar-Tabernas-Sorbas, de edad Neógena, corredor tectónico alargado de Oeste a Este entre las alineaciones montañosas del norte (Sierras Nevada y Filabres) y las del sur (Sierras de Gádor, Alhamilla y Cabrera).

Las rocas que rellenan la depresión son de tipo sedimentario marino, relativamente recientes, sobre todo *detríticas* y *evaporíticas* (margas blandas, con intercalaciones algo más duras de calcarenitas en áreas periféricas, próximas a la antigua costa), pero menos deformadas que las de las unidades estructurales que la delimitan y de la que se diferencian: calizas, dolomías y micasquitos más antiguos, muy deformados por la tectónica, pero mucho más resistentes a la erosión.

La propia depresión sufrió una deformación desde finales del Tortoniano (período comprendido entre 10,4 y 6,7 millones de años) y un levantamiento continuado que prosigue hasta la actualidad. Testigos de esta deformación en la zona son los estratos con acusado *buzamiento* o incluso verticales, como se observa en el conocido *pliegue diapírico* de la N-340. La yuxtaposición del levantamiento máximo en el extremo oeste de la cuenca con la falla del Andarax, en Rioja, dio como resultado el afloramiento de potentes series de margas yesíferas sobre las que durante el Plioceno y el Pleistoceno se depositaron sedimentos coluviales, aluviales e incluso lacustres (éstos últimos en el Cuaternario), cuya erosión formó un *glacis* del que aún quedan restos en las cumbres actuales de las *mesas*, ejemplo de *relieve tabular*. Estas *mesas* están formadas por una parte superior de materiales cuaternarios duros, encostrados con *caliche* (acumulación de carbonato cálcico sobre todo de origen edáfico), lo que contribuye a su estabilidad, sobre materiales terciarios más blandos que constituyen su base. Se observan sobre todo en la zona de contacto de la depresión con las montañas que la rodean, tanto al Norte como hacia el Sur, extendiéndose hacia el río Andarax y visibles en Gádor, Benahadux, Pechina y en el paraje conocido como el Tablazo.

De la erosión de los materiales blandos durante los últimos miles de años resultan los rasgos fisiográficos de pequeña extensión: durante el Cuaternario y bajo la influencia de un clima árido, se ha ido desarrollando un paisaje de morfología marcada por la erosión cuya principal señal de identidad son las laderas acarreadas, las profundas incisiones, los *cañones* a veces alejados del actual nivel de ramblas, conformando el *malpaís* más extenso de Andalucía



Modelo digital de elevaciones sombreado en el que pueden apreciarse las distintas alineaciones montañosas

Pliegue diapírico junto a la N-340 cerca de Rioja





Cañón próximo a la Fuentesaeta

y de los más extensos España. Toda su red de drenaje es un magnífico ejemplo de lo que sucede a escala de gran cuenca, en la que los cauces tienden a suavizar paulatinamente el relieve, equilibrándolo, con un claro predominio de la acción erosiva en cabecera, *erosión remontante*, y el consiguiente *encajamiento* de los cauces, un cierto equilibrio en la parte media, y un predominio de la *sedimentación* en la parte baja.

Durante el Cuaternario los levantamientos y disecciones han sido cíclicos, resultando un paisaje escalonado de conjuntos de cárcavas de

diferentes edades separados por pedimentos disectados, enlazando los más bajos con las terrazas más recientes de las ramblas. Entre las posibles causas de los ciclos que han generado el— paisaje actual, diferentes investigaciones citan los levantamientos tectónicos episódicos y las subsecuentes respuestas erosivas, o las fluctuaciones climáticas del Cuaternario, o los ciclos de erosión y estabilización intrínsecos del *malpaís*. Ultimamente se ha demostrado que los cambios en la densidad de la vegetación, favorecidos por los ciclos climáticos, pueden ser en gran parte responsables de la activación de la erosión o de la estabilización en la zona.

## RASGOS MORFOESTRUCTURALES Y FISIAGRÁFICOS DE PEQUEÑA EXTENSIÓN

En general, el paisaje presenta contrastes microtopográficos pronunciados, con frecuentes y abruptos cambios de pendiente, orientación y curvatura de las laderas, que condicionan fuertemente la infiltración y la escorrentía del agua de lluvia y, en consecuencia, han originado una muy heterogénea cubierta vegetal. Resulta singular observar como en una zona relativamente reducida, con clima y litología homogéneos, la cubierta vegetal sea tan heterogénea y tenga un patrón de distribución espacial que se repite por toda la zona, con laderas de fuerte pendiente orientadas al sur y sudoeste, desprovistas de vegetación, y laderas menos inclinadas orientadas al norte y noreste, cubiertas por plantas superiores y líquenes.

El paisaje sugiere elevadas tasas de erosión, pero estudios recientes revelan lo contrario, por lo que es muy probable que el aspecto de los Subdesiertos de Almería haya sido similar al actual desde hace al menos dos mil años, como también se ha demostrado respecto al *malpaís* de la hoya de Guadix (Granada), bajo clima relativamente parecido. En realidad, las cárcavas y barrancos de los Subdesiertos de Almería son escasamente activos porque la erosión y el transporte de sedimentos están limitados por la escasez de precipitaciones. Según datos del ICONA, en esta zona la erosividad de la lluvia y el índice de agresividad del clima de Fournier, presentan valores moderados, mucho más bajos que los calculados para otras estaciones meteorológicas de la costa mediterránea española. En realidad, las tasas de erosión presentan una extraordinaria variabilidad espacial: un solo episodio lluvioso puede llegar a erosionar



desde varios centímetros en una determinada *acanaladura* de ladera hasta varios decímetros en una *cárcava*, si bien en zonas contiguas la erosión puede ser nula o incluso haber deposición, por lo que el balance *erosión - deposición* es sólo escasamente positivo a escala de decenio. Mediante el seguimiento de cuencas instrumentadas en el área acarcavada de El Cautivo, en la última década, se han registrado tasas de erosión a escala de cárcava o cuenca elemental muy altas en un solo episodio de lluvia (más de  $2800 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , lo que equivale a un rebajamiento de



Típico valle asimétrico de los Subdesiertos de Almería

2,15  $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ ), sin embargo a escala de pequeña cuenca (2 ha) las tasas de erosión oscilan entre  $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$  (equivalente a un rebajamiento de  $0,08 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ ) y  $430 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$  (ó  $0,35 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ ), aunque menores de lo que cabría esperar a simple vista, son substancialmente mayores que las registradas en otras subcuencas de la vertiente sur de la Sierra de los Filabres (Rambla Honda), con menos de  $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Estas tasas de erosión se explican por dos razones principalmente:

1. Por la escasez de precipitaciones de gran magnitud e intensidad capaces de exportar grandes cantidades de sedimentos. Las lluvias más frecuentes son las de baja magnitud e intensidad que no generan escorrentía y por término medio, en un año, sólo tienen lugar dos o tres eventos lluviosos que exporten cantidades importantes de sedimentos. Y cada cierto número de años ocurre una tormenta de gran magnitud e intensidad que provoca cambios importantes en el paisaje. Sin embargo estas tormentas extremas son muy poco frecuentes en el área.
2. Las áreas que contribuyen mayoritariamente a la erosión, normalmente desprovistas de vegetación, no representan más de un tercio de la zona y el resto está cubierta por un matorral ralo xerófilo o por líquenes. Estos últimos si bien generan una escorrentía elevada, protegen al suelo de la erosión.

En los Subdesiertos de Almería se identifican no sólo la mayoría de procesos de erosión debida al agua de la lluvia, y sus formas resultantes, sino que además se produce un elevado número de procesos geodinámicos externos.

El primer conjunto de procesos que genera material disgregado de las rocas y material susceptible de ser transportando, es conocido como *meteorización* y su papel es esencial en el modelado del paisaje: la génesis del suelo y sus características dependen de la *meteorización*, que además permite posteriores procesos de transporte, y en consecuencia



Eflorescencias salinas



Superficie sellada por impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo frágil. Se observan grietas de retracción

Acanaladuras y surcos en una ladera típica orientada al Sur



también la evolución de las formas del relieve. La elevada proporción de roca expuesta junto con sus características litológicas (abundancia de yeso y otras sales más solubles) explican la efectividad de los procesos de *meteorización*. Las sales se hidratan y deshidratan en respuesta a cambios de humedad y temperatura, y los *cambios de fase* resultantes suelen llevar asociados cambios en el volumen de los cristales (para el carbonato y el sulfato sódicos el aumento de volumen puede ser superior al 300%). El alto contenido en sales de la roca madre, observable

en numerosas *eflorescencias*, es la causa de que dichos cambios de volumen ejerzan una presión considerable contra las paredes de las grietas y fisuras de la roca.

La alteración ocasionada por los ciclos *humectación-deseccación* es bastante rápida y se ha demostrado en laboratorio que los primeros ciclos son los más activos. La rapidez de la alteración también se pone de manifiesto cuando se pesa el material desprendido por *meteorización* en parcelas experimentales de campo: la tasa de *meteorización* oscila entre 0,7 y 8 mm·año<sup>-1</sup> de rebajamiento de la roca. En esta zona los ciclos de *humectación-deseccación* son frecuentes por la relativa abundancia de lluvias pequeñas, suficientes para humedecer la superficie de las rocas que afloran en los cauces y de los *regolitos* margosos, para seguidamente secarse y alterarse. Sin embargo la *meteorización* está limitada por la escasa magnitud de las precipitaciones que

permitan infiltrar el agua a suficiente profundidad y permitir el desarrollo edáfico.

En cuanto al resto de procesos erosivos, se describen brevemente los que se producen en la zona junto con sus microformas asociadas. Se trata esencialmente de erosión hídrica, siendo la eólica poco relevante. En la mayoría de laderas orientadas desde el S al W los impactos de las gotas de lluvia y la posterior *salpicadura* de material forman *microcráteres* y *pináculos* y trasladan material fino ladera abajo; aparecen *superficies selladas*, que disminuyen enormemente la *infiltración* y favorecen la *escorrentía* y *arroyada* que a su vez genera morfologías típicamente erosivas: infinidad de *acanaladuras* que cuando se ensanchan y profundizan dan lugar a *surcos*; además, son muy frecuentes las *cárcavas*; aparecen



Cárcava



Pedestal de dos metros de altura

también *pedestales* y *pináculos* de escala decimétrica a decamétrica, debidos a la erosión por socavamiento alrededor de obstáculos. Cuando se concentra el agua de escorrentía en cauces bien definidos y con mayor capacidad de evacuación, se observan *torrenteras* en sentido genérico, que reciben nombres específicos como *gargantas*, *cañones*, *barrancos*, *barranqueras* o *quebradas*, según su morfología; o *arroyos*, *ramblas* y *wadi*, por su régimen. Cuando los cauces atraviesan materiales más resistentes a la erosión se pueden formar impresionantes *cascadas*, aunque necesariamente efímeras, así como *pozas* y *marmitas de gigantes*, que se forman por el doble efecto de la *abrasión* y la *disolución*.

Otro proceso importante en esta zona lo constituyen los *movimientos en masa*, proceso genérico que incluye los *desprendimientos*, las *caídas de bloques*, los *deslizamientos* y las *coladas de barro*. Estos últimos son quizás los más frecuentes y se producen cuando un volumen más o menos grande de regolito, momentáneamente saturado de agua, se desliza ladera abajo por gravedad.

El material erosionado en la parte superior de la cuenca, procedente de surcos, cárcavas o movimientos en masa, es transportado por el torrente en forma de corrientes en general *hiperconcentradas*, con elevada



Pedestales (con clastos) y pináculos de unos pocos centímetros



Cascada de 6m de altura en el barranco de El Cautivo

Poza de más de 1m de diámetro en el barranco de El Cautivo

carga sólida, hacia su tramo inferior depositándose más o menos lejos en el cauce o al final del mismo, dando origen a *conos de deyección*, que podrán ser erosionados por la próxima riada, con recurrencias de unos pocos años. Estos conos pueden faltar totalmente cuando el cauce desemboca en otro mayor, que puede arrastrar su contenido dependiendo de que el lugar de la desembocadura esté en agradación o degradación.

En la base de algunos pedimentos, también se encuentran *pavimentos de piedras*, típicos de las zonas áridas, de origen mixto, eólico, fluvial y pluvial (*salpicadura*), si bien aquí la causa eólica es poco importante.

Otros mecanismos de evolución actual que se pueden observar en las laderas de la zona son a) retroceso de laderas por evolución del *relieve tabular*: una capa de material duro, que puede estar inclinada, protege una capa blanda cuyo frente avanza por *erosión diferencial* y posterior caída del paquete duro superior por *descalce*; b) retroceso de laderas por *descalce*: la erosión de los materiales más blandos da lugar a desprendimientos de las capas duras intercaladas; c) *descalce por socavamiento basal*: en los márgenes de ramblas y barrancos, la corriente socava la zona de contacto inferior produciendo el desplome por gravedad de la parte alta del paquete. Es un fenómeno que explica la evolución lateral de cauces; d) *desprendimientos* ligados a *grietas de tensión* paralelas a los frentes de talud.

Las formas de depósito fluvial están bien representadas aunque su desarrollo está limitado por la brevedad de los episodios, lo que no impide observar amplios *meandros*, y *cauces anastomosados*, con magníficos ejemplos en la Rambla de Tabernas. Está muy bien representado el *cordón fluvial* desarrollado paralelamente a los cauces principales de los ríos Andarax y Nacimiento, y de la rambla de Tabernas. Asimismo se observan algunas *terrazas bajas*, poco desarrolladas, y pequeños *conos de deyección*

Desprendimiento de decenas de toneladas en las paredes de la Rambla de Tabernas

Caída de bloques en la Rambla del Infierno por erosión diferencial de los materiales





de los tributarios, que son, a su vez, redistribuidos en época de crecidas, por la corriente principal.

Aunque existe un sistema bien desarrollado de terrazas fluviales y depósitos lacustres, no es tan conspicuo como en otros ríos peninsulares.

En cuanto a formas de erosión y sedimentación fluvial que pueden originar *estructuras sedimentarias*, encontramos en el fondo de los cauces estructuras de corriente, tales como *ripple marks* (marcas de corriente), y— de *huellas*: de aves, de carga, de gusanos, etc.

Debido a la diferente permeabilidad de los estratos de la marga, y después de períodos lluviosos, se producen *surgencias* casi siempre asociadas a *eflorescencias* salinas debido a la elevada cantidad de sales solubles de la marga y a la alta evaporación.

Otro proceso particular de erosión, bien representado en algunos puntos de los Subdesiertos de Almería, es la *sufusión*. Se identifica por la presencia de túneles o *pipes* (vocablo inglés del que procede *pipng*, nombre con el que también se conoce dicho proceso) de diámetros desde unos pocos centímetros a decímetros, raramente metros, generalmente en el contacto entre los suelos o depósitos cuaternarios y la marga yesífera subyacente. La sufusión se produce cuando el agua de infiltración en grietas, fisuras o poros de origen biológico, se ve sometida a un aumento de su gradiente hidráulico debido a la presencia de escalones en el paisaje, tales como terrazas de cultivo o taludes. Suele producirse en el seno de materiales poco consolidados y de tamaños de grano relativamente homogéneos, también en materiales fácilmente dispersables, en general con abundante sodio intercambiable. La poca coherencia del material favorece su arrastre en zonas puntuales generándose conductos tubulares por los que el material es evacuado. Cuando las características del material favorecen el proceso, se desarrolla una compleja red de túneles que crece tanto lateral como verticalmente, hasta que los desagües alcanzan el nivel de base local. El desarrollo de los túneles va acompañado de un incremento de su diámetro, aumentando su inestabilidad, produciéndose el progresivo desplome de sus paredes y techos, y la coalescencia de túneles, originándose un peculiar relieve que recuerda al paisaje kárstico.



Colada de barro que ha formado un pequeño cono de deyección de unos pocos metros

La salpicadura y la escorrentía superficial han generado un pavimento de piedras





Fotografía aérea de la Rambla de Tabernas mostrando meandros y cauce anastomosado

Surgencia en el barranco de El Cautivo



Erosión por sufusión (túneles)





## GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA

Tanto en el borde de la sierra de Gádor, hacia la zona de Alhama de Almería, como hacia el centro de la depresión de Tabernas (gasolinera Alfaro), destacan por su peculiaridad los *travertinos*, que son depósitos carbonatados que, en la primera localidad, se encuentran asociados a las surgencias del nivel de base del acuífero *kárstico* de Sierra de Gádor, precipitando el carbonato sobre plantas vivas o sobre sus restos. En el segundo están asociados a las surgencias de acuíferos someros de algunas ramblas colgadas o de sus terrazas y su actividad se observa incluso en pleno verano cuando la estación precedente ha llenado suficientemente los niveles freáticos. Puede observarse una gran variedad de microformas.-

Otro proceso muy peculiar y característico de la zona es la *karstificación* en yesos (se distingue de la karstificación en calizas y dolomías por producirse fundamentalmente la disolución del yeso en vez de la calcita y dolomita), que se localiza en el afloramiento del Cerro del Yesón, en donde se observan *simas*, pequeñas *dolinas* y *cuevas*. Pero en donde este proceso adquiere una magnitud considerable es en los afloramientos de yesos cercanos, en Sorbas, en el paraje conocido como Karst en Yesos de Sorbas, notable a escala mundial, si bien fuera de los límites de los Subdesiertos de Almería. Tienen un gran interés espeleodeportivo y espeleocientífico y constituyen uno de los mejores ejemplos de este tipo de proceso a escala internacional.



Formación actual de travertinos.



Magnífico ejemplo de travertino.



Paisaje de karst en yesos en el Yesón Alto.