

UNIDADES DE DIAGNÓSTICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD GEOMORFOLÓGICA EN EL VALLE DEL ANDARAX (PROV. DE ALMERÍA).

EMILIO FERRE BUENO

RESUMEN

Este trabajo presenta la delimitación de unidades de terreno útiles para la evaluación de la peligrosidad geomorfológica en un territorio de la cuenca del Andarax (provincia de Almería) que abarca distintas unidades de paisaje (montaña, piedemonte y valle). Se ha trabajado a escala 1:25.000 y, de la superposición de mapas temáticos referentes a morfología, pendiente y litología, han resultado 69 unidades diferentes. Cada una de dichas unidades se ha caracterizado con los procesos morfogenéticos que les afectan y con su grado de actividad con lo que se ha estimado su peligrosidad geomorfológica.

ABSTRACT

This article is about the delimitation of useful terrain units for the assesment of the Andarax basin (Almería area) which includes various landscape units (mountain, piedmont and valley). We have been working on a 1:25.000 scale. From the superposition of theme maps refering to morphology, dipslope and litology, have come out 69 different units. These units have been characterized with the morphogenetic processes which affect them and with their activity level. So, in this way we have assessed their geomorphological hazard.

INTRODUCCIÓN.

La planificación territorial con el objetivo de organizar y estructurar un espacio geográfico debe basarse en el profundo conocimiento del territorio que se va a manejar. Este conocimiento se basa en múltiples y complejos parámetros que pueden agruparse, de forma simplificada en los siguientes apartados:

A: características ambientales, recursos naturales, riesgo ambiental y bienes culturales.

B: bienes culturales y marco socio-económico.

En el primer grupo, junto a otras Ciencias de la Tierra, la Geomorfología aporta una base considerable al conocimiento de las características físicas del territorio, de algunos de sus recursos, del riesgo geomorfológico y de ciertos bienes culturales (formas o paisajes geomorfológicos de valor singular; ya que otros bienes culturales pertenecen al grupo B en cuanto que se derivan de la acción humana).

Sin detrimento de otros aspectos del conocimiento del medio físico, una correcta aproximación al problema ambiental debe poner suficiente acento en aquellas manifestaciones de los

elementos del medio cuya dinámica es peligrosa; es decir, ha de valorar el riesgo ambiental para aplicar los instrumentos adecuados de previsión.

En el riesgo ambiental participan gran número de componentes que se pueden reunir en dos grandes grupos:

- la peligrosidad ambiental, que agrupa las posibilidades de que los fenómenos naturales (por sí o inducidos por el hombre) se puedan producir en un territorio en un determinado intervalo de tiempo.
- la vulnerabilidad territorial, que agrupa todo lo relacionado con el grupo humano: vidas, haciendas, infraestructuras, economía, etc.

Por lo tanto el riesgo ambiental es la probabilidad de que ciertos procesos del medio físico, combinados de manera excepcional, sean perjudiciales para el hombre, existiendo la posibilidad de que estos fenómenos de "peligrosidad" no puedan ser absorbidos o mitigados por el grupo humano y sus consecuencias económicas y sociales superen un determinado umbral. Por lo tanto, el riesgo ambiental es igual al producto de la peligrosidad ambiental por la vulnerabilidad de un territorio (PANIZZA, 1988).

La evaluación del riesgo ambiental tiene un primer nivel de conocimiento que es el de la peligrosidad ambiental, en la que uno de sus parámetros es la peligrosidad geomorfológica. Así que, de la estimación de dicha peligrosidad geomorfológica podemos deducir la importancia del riesgo geomorfológico.

En este somero marco conceptual se sitúa el contenido de este trabajo, que tiene por objeto aplicar una metodología para delimitar en un territorio distintas unidades espaciales que, por sus elementos fisiográficos y por su dinámica geomorfológica, se encuentran a diferentes niveles de peligrosidad. Cada una de dichas unidades se distingue de las demás tanto por sus atributos intrínsecos como por los procesos morfogenéticos que en ella se manifiestan.

LA ZONA DE ESTUDIO

Para la aplicación de esta metodología se ha escogido un área de la parte central de la Cuenca del Río Andarax (Fig. 1) por varias razones, entre las que destacarían el hecho de ser un ámbito cuyo equilibrio morfogenético es muy frágil y porque es un territorio con suficientes contrastes como para distinguir en primera aproximación (escala 1:200.000 a 1:100.000) las siguientes unidades de paisaje de sur a norte (Figs. 2 Y 3):

1) La **Sierra de Gádor**, al sur, es una alta montaña cuyas laderas escarpadas tienen pendientes, con frecuencia, superiores al 80 % (sobre todo en los flancos de la Sierra) y los desniveles relativos superan los 1.000 m. Las alturas absolutas pueden rebasar los 2.100 m.

Está constituida por rocas pertenecientes a varios mantos de corrimiento de la zona interna de las Cordilleras Béticas plegados en un enorme anticlinorio. En definitiva, constituye un imponente edificio de dolomías y calizas alpujárrides pertenecientes al Manto de Gádor (= Manto de Lújar) que significan el 85 % de la Sierra; mientras que el resto son otras litologías. En

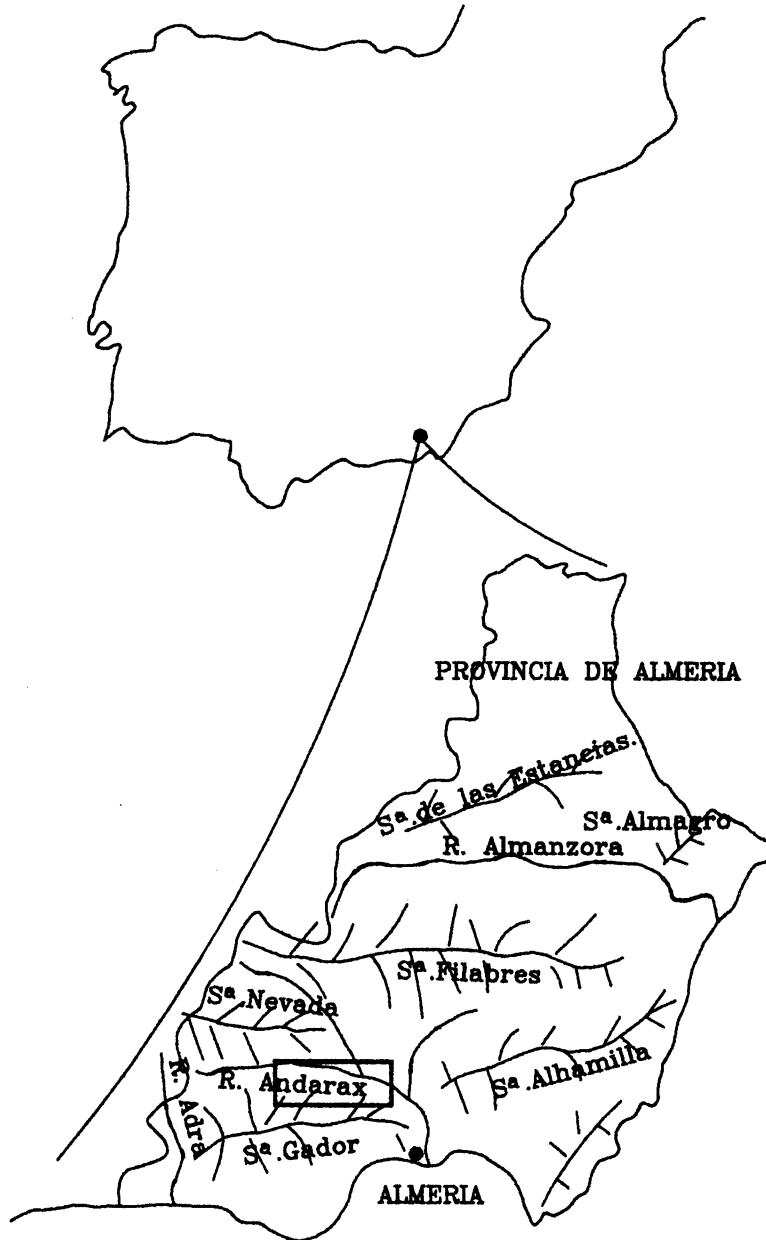


Fig. 1 Situación del territorio estudiado

el flanco norte, al este de Alhama, aflora un retazo del zócalo del Manto de Gádor constituido por esquistos calcáreos y margas; así como también, en este mismo sector del flanco norte, aparecen importantes afloramientos del Manto de Felix (= Manto de Murtas), constituidos por amplias zonas de filitas subyacentes a algunos retazos de su cobertera dolomítica. Estas áreas del Manto de Felix vienen a suponer el 10 % de la Sierra.

En la Sierra se pueden distinguir dos subunidades de paisaje diferentes:

- a) La zona de cumbres constituye una de ellas, cuyos rasgos principales son:
 - La altura absoluta que aumenta sensiblemente desde la zona oriental hacia la occidental y se llega a rebasar los 2.100 m., aunque en notables extensiones la altitud se mantiene entre 1.400 y 1.800 m.
 - El aspecto amesetado en amplias zonas como consecuencia del juego de bloques, provocados por fallas, que ha hundido gran parte de la bóveda del anticlinorio y explica la existencia de amplias zonas con pendientes comprendidas entre el 30 y el 40 % (incluso en áreas importantes las pendientes están alrededor del 8%). Algunas de estas áreas amesetadas coinciden con afloramientos de litologías neógenas (calcarenitas) y con rellenos cuaternarios.
 - El uso del suelo es predominantemente forestal, aunque la relativa debilidad de las pendientes ha permitido los cultivos de secano en algunas zonas.
- b) Los flancos de la Sierra son otra subunidad de paisaje. Aquí nos referimos al flanco norte y sus rasgos dominantes son:
 - escarpidad muy fuerte, ya que las pendientes pueden superar el 80 %.
 - está profundamente disectado por barrancos, cuyos perfiles longitudinales experimentan bruscas rupturas de pendiente y cuyos cauces han de salvar fuertes desniveles en muy corto trecho, encajados, además, en angostas gargantas.
 - uso exclusivo forestal.

2) El **pedemonte** del flanco norte de la Sierra de Gádor es otra unidad de paisaje fácilmente perceptible por el cambio brusco del valor de las pendientes, por la distinta litología y por las morfologías menos abruptas.

Las pendientes oscilan entre el 12 y el 20 % y los desniveles relativos se encuentran entre 50 y 200 m. Por lo tanto es un paisaje de topografías moderadamente escarpadas, con colinas numerosas constituidas por restos de importantes acumulaciones escalonadas, que han sido acarreadas por los elementos fluviales que bajan de la Sierra. Son retazos de conos de deyección y de glaciares-conos que debieron adaptar su nivel de acumulación a los sucesivos cambios de su nivel de base, que ha correspondido siempre al nivel de profundización de la red fluvial del río Andarax instalada en la cuenca neógena.

La red de fallas que accidentan el flanco de la Sierra ponen en contacto brusco la enorme masa calizo-dolomítica de la montaña (cuyas características estructurales le permite ser una importante reserva hidrogeológica) con las litologías de la cuenca neógena. En dicho contacto han funcionado numerosos manantiales cuya intensidad ha variado en función de los cambios climáticos de los últimos 2 millones de años (pluviales e interpluviales cuaternarios). De su

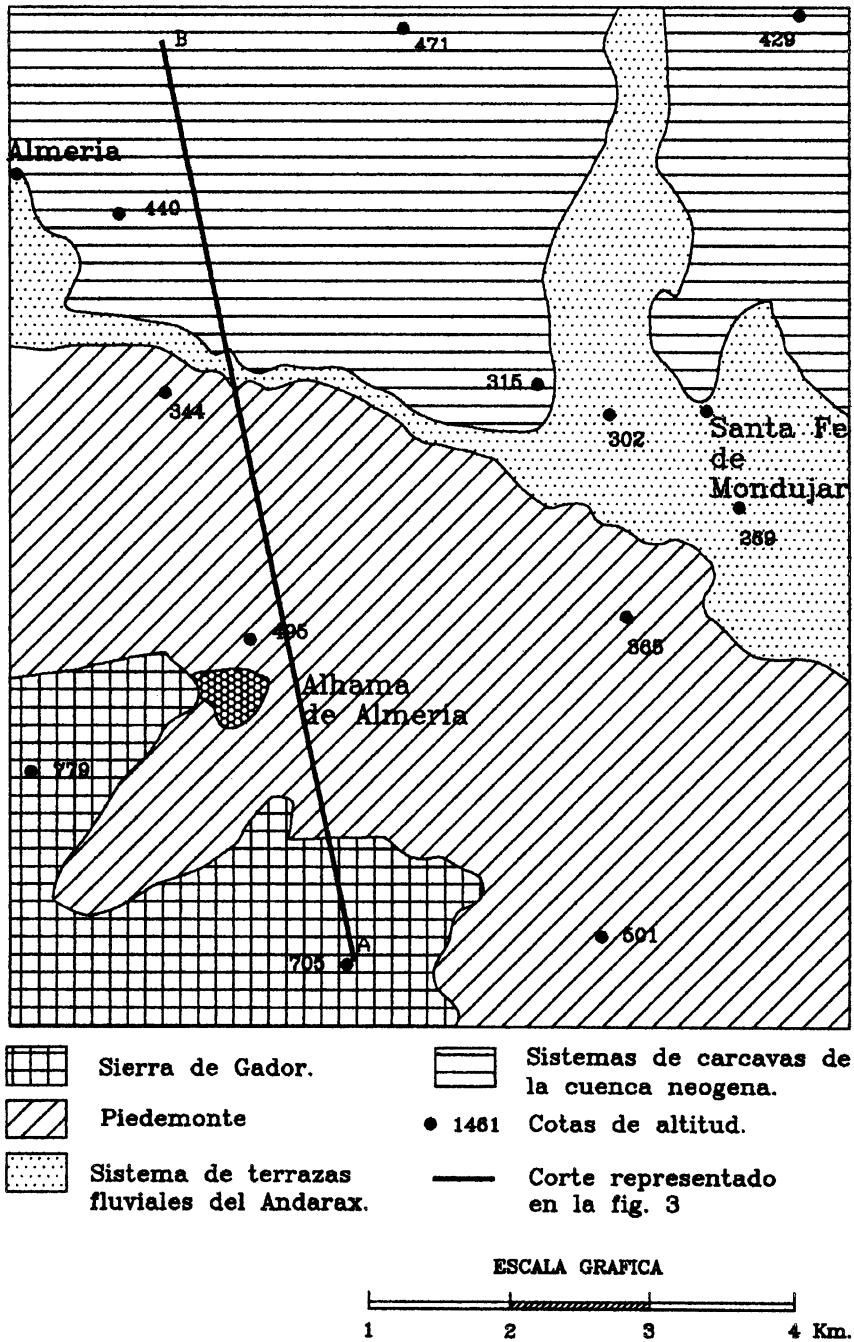


Fig. 2. Unidades de paisaje en la cuenca media del Andarax

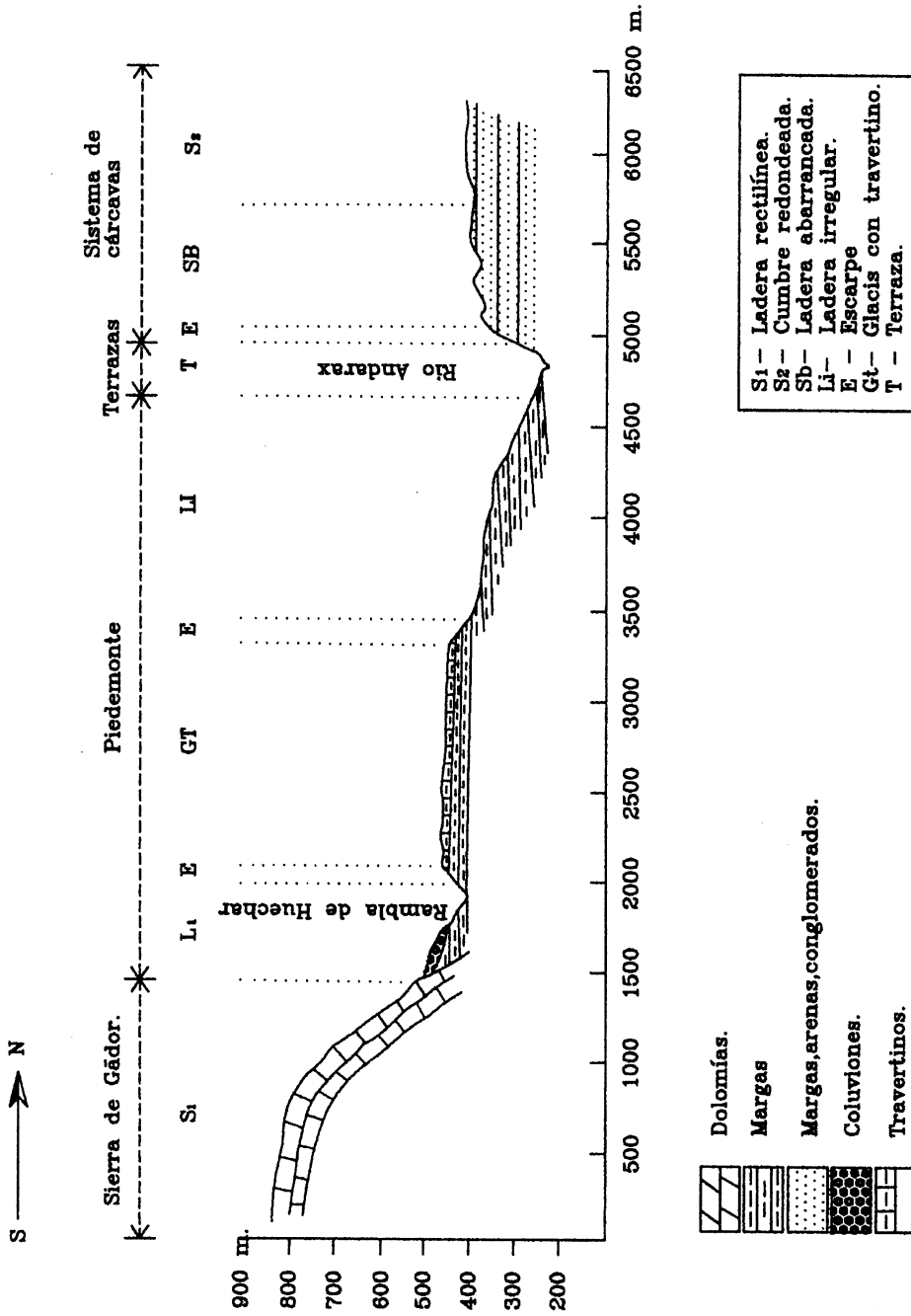


Fig. 3. Corte transversal de las unidades de paisaje en la cuenca media del Andarax

actividad en períodos pluviales quedan manifestaciones en forma de restos de lo que debieron ser importantes masas de travertinos. Además, los niveles de glacis-conos más antiguos presentan importantes encostramientos tanto en la superficie como en la base de la cubierta.

Se pueden distinguir dos subunidades de paisaje en el piedemonte:

- a) Las cubiertas de los glacis-conos y de los conos de deyección, formados por acumulaciones detríticas, con frecuencia encostrados o fosilizados por importantes bancos de travertinos. Son las coronas de las numerosas colinas anteriormente citadas y, en general, están poco cultivadas.
- b) Los barrancos y vaguadas inter-conos, modelados por la profundización de la red fluvial desde el Cuaternario medio, junto con algunos niveles de aplanamiento más recientes. La litología es un poco diferente ya que, además de las coberteras detríticas poco encostradas, son frecuentes los afloramientos de rocas margosas pertenecientes a la cuenca neógena que, por otra parte, son siempre el soporte de todas las cubiertas detríticas antes mencionadas. Esta subunidad de paisaje está ocupada en gran parte por cultivos de regadío que han necesitado un previo acondicionamiento en bancales.

3) Las **terrazas aluviales del Río Andarax** se localizan en una franja cercana al cauce principal del Río Andarax. Las más viejas son, en realidad, las terminaciones de los glacis-conos citados en el sistema de paisajes del piedemonte. Son glacis-terrazas de las que sólo quedan pequeños retazos colgados algunas decenas de metros sobre el lecho actual y que se distinguen por su cobertera detrítica y por su relativa planitud.

4) El **sistema de cárcavas** de la cuenca neógena. Dicha cuenca, drenada actualmente por el Río Andarax se originó en una etapa distensiva post-orogénica y separa la Sierra de Gádor, al sur, de la Sierra Nevada al noroeste.

El relleno marino de la cuenca comienza por calcarenitas y margas arenosas que constituyen una facies de borde y afloran al este de Alhama; sigue con una facies de cuenca profunda, formada por potentes series de margas con algunas intercalaciones de arenas y yesos, que aflora entre Rágol y Alhama, coincidiendo con el eje de la cuenca, y finaliza con una serie regresiva constituida por margas arenosas y conglomerados y que se localiza al norte del territorio estudiado. Por último, desde la confluencia del Río Nacimiento aparecen discontinuos afloramientos de margas y conglomerados continentales pliocenos, así como, desde la Rambla de Gérgal, comienza un cuerpo deltaico que se extiende hasta las cercanías de la desembocadura del Río Andarax.

La red fluvial ha explotado con relativa facilidad estas litologías poco resistentes a la erosión lineal y ha modelado un extenso paisaje de cárcavas que dejan entre sí numerosas colinas alargadas, a la manera de espigones; en las que las laderas tienen pendientes comprendidas entre el 12 y el 20 % y cuyos desniveles relativos oscilan entre 50 y 200 m. El resultado es una topografía moderadamente escarpada.

El hombre considera esta unidad de paisaje como un medio hostil esencialmente por la aridez de la región que, en combinación con la naturaleza estructural de sus litologías (su poca permeabilidad y débil cohesión las hace muy poco resistentes frente a la erosión hídrica super-

ficial, a la vez que su contenido en arcilla y yesos las hace proclives a deslizamientos en masa) ha limitado el uso agrícola sólo a aquellas zonas concretas a las que, mediante encauzamiento, ha podido llevarse agua para riego.

METODOLOGÍA

El estudio se ha aplicado en un área de 3.450 has. situada en la parte central de la cuenca del Andarax, abarcando el territorio que se extiende entre las confluencias con el Río Andarax del Río Nacimiento, por el oeste, y de la Rambla de Huéchar, por el este (Fig. 1 y 2).

En una aproximación a nivel de sistemas de tierras (VERSTAPEN Y VAN ZUIDAM, 1991) participa de las unidades de paisaje anteriormente descritas desde el punto de vista fisiográfico (Fig. 2 y 3) de tal manera que son cuatro sistemas de tierras diferentes por sus elementos estructurales, topográficos, morfológicos, biogeográficos y morfogenéticos. A esta escala de análisis la peligrosidad geomorfológica se ha estimado con un nivel de generalización elevado, escogiendo un proceso común a todas las unidades de paisaje: la pérdida de suelo por escorrentía superficial.

En un segundo nivel de aproximación se ha reducido la generalización y se ha ampliado el diagnóstico a otros procesos, además de la escorrentía superficial, delimitando unidades a escala 1:25.000. La delimitación se ha hecho según el concepto de unidades de terreno (VAN ZUIDAM y VAN ZUIDAM-CANCELADO, 1979), que se fundamenta en las unidades homogéneas de CHRISTIAN y STEWART (CHRISTIAN y STEWART, 1958), largamente utilizado hasta la actualidad (FRANCES, et al., 1989; CENDRERO, et al., 1986; DIAZ DE TERAN, et al., 1991, FERRE BUENO, et al., 1994). Las unidades de tierras o unidades de terreno (*terrain units*) se refieren a formas de relieve o a una combinación de formas de relieve que, consideradas a escala de detalle (1:10.000 - 1:50.000), presentan características externas e internas distintas de las unidades de alrededor en un mismo sistema de tierras.

El procedimiento para su delimitación ha sido la elaboración de mapas temáticos que conciernen a la morfoestructura/litología, morfología y morfogénesis y la superposición de los mismos.

El mapa litológico se ha elaborado a partir del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 (Hoja 1044), rectificado con trabajo de campo y ampliado a escala 1:25.000.

El mapa morfométrico es un mapa clinométrico elaborado a partir del Mapa Topográfico a escala 1:25.000 (Hoja 1044.II).

El mapa geomorfológico se ha elaborado con fotografía aérea a escala 1:20.000 (vuelo de nov. 1989), trabajo de campo y restitución con el Mapa Topográfico a escala 1:25.000.

LA PÉRDIDA DE SUELO COMO FENÓMENO COMÚN DE PELIGROSIDAD GEOMORFO-LÓGICA

En este sentido se ha aplicado la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) con objeto de evaluar las pérdidas de suelo por escorrentía superficial, que es un proceso morfogenético que afecta a los cuatro sistemas de tierras implicados.

Para calcular la USLE: $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$, donde

A = pérdidas de suelo en Tm/Ha/año,

R = erosividad de la lluvia,

K = erodibilidad del suelo,

L = longitud de la ladera,

S = inclinación de la ladera,

C = vegetación natural y/o cultivos,

P = prácticas de conservación del suelo,

se ha seguido la modificación realizada por el Proyecto LUCDEME en el estudio del Río Adra (ICONA, 1986) para el cálculo de **R** en aquellas zonas donde no existe pluviógrafo, como es el caso que nos ocupa.

El valor de **R** se basa en la elaboración de la información de la estación pluviométrica de Alhama de Almería que sirve para toda la zona de estudio en una serie de 30 años (1961-90). La fórmula utilizada ha sido:

$R = 2'375(PD2) + 0'513(PEMEX) - 94'4 = J/m^2/cm.$, donde

$PD2 = X + (K \cdot Sx)$

X = media del valor máximo anual de precipitación en 24 horas a lo largo de la serie de años considerada.

K = es una constante cuyo valor es de - 0'15 y

Sx = es la desviación estándar de **X**.

Con esta fórmula se ha calculado un valor de **R** de 33'60 que es aplicable a todo el territorio estudiado.

Para calcular **K** se ha utilizado la fórmula:

$K = [10^{-4} \cdot 2'71 (M^{1'4} \cdot (12-a) + 4'2 \cdot (b-2) + 3'23 \cdot (c-3))] / 100 = Tm/Ha.$

M = (% de limo + % de arena muy fina) x (100 - % de arcilla)

a = % de materia orgánica

b = estructura del suelo, con la que, según el tipo de gránulo alcanza los valores de: 1 = muy fina; 2 = fina; 3 = gruesa; 4 = muy gruesa

c = permeabilidad del suelo con valores de: 1 = muy rápida; 2 = moderadamente rápida; 3 = moderada; 4 = moderadamente lenta; 5 = lenta; 6 = muy lenta.

Los valores resultantes deben oscilar entre 0'03 y 1'10.

En cuanto que el factor **K** tiene en cuenta las características del suelo en su horizonte superficial, se han obtenido las asociaciones de suelos de cada uno de los sistemas de tierras a partir del Mapa de Suelos de la Hoja de Alhama de Almería (1044) a escala 1:100.000 (ICONA, 1988).

En este sector de la Sierra de Gádor la asociación es:

- **Leptosoles líticos** sobre dolomías (70%) + **Regosoles calcáricos** sobre filitas (25%) con inclusiones de **Regosoles calcáricos** sobre coluviones (5%). De la ponderación de las características de sus horizontes y de la aplicación de la fórmula se obtiene un valor medio ponderado para **K = 0'37**.

En el piedemonte la asociación de suelos considerada es:

- **Cambisoles calcáricos** sobre travertinos (70%) + **Cambisoles calcáricos** sobre margas (25%) con inclusiones de **Leptosoles líticos** sobre travertinos o sobre cubiertas de glaciis encostradas (5%).

Con esta asociación el valor medio ponderado calculado es de **K = 0'43**.

En el sistema de terrazas fluviales, considerando sólo las no consolidadas, los suelos son **Fluvisoles calcáricos** en los que el valor de **K = 0'84**.

Finalmente en el sistema de cárcavas de la cuenca neógena los suelos son **Regosoles calcáricos** sobre conglomerados y arenas deltaicas que arrojan un valor de **K = 0'34**.

El factor **L•S** se refiere al valor de la longitud e inclinación de la ladera y se ha obtenido mediante las fórmulas:

- **L•S = ($\lambda 22'1$)^m • (0'43 + 0'30s + 0'43s / 6'613)** para relieves suaves con laderas con menos de 200 m. de longitud y por debajo del 20% de pendiente, o
- **L•S = ($\lambda 22'1$)^{0'3} • (s/9)^{1'3}** para laderas de más de 350 m. de largas y pendientes a partir del 20%.

λ = longitud de la ladera en metros

s = valor de la pendiente en %

m = interacción de **l** y **s**, que alcanza valores de **0'6** para laderas con pendientes > 10%; **0'3** para laderas muy largas y pendientes inferiores al 1'5%; y **0'5** para el resto de las laderas.

La información con relación a λ y a **s** se ha obtenido a partir del Mapa Topográfico a escala 1:50.000 (Hoja 1044) y los valores para los cuatro sistemas de tierras se reflejan en el cuadro nº 1.

Cuadro nº 1.

Sistema de tierras	Longitud de la ladera	Pendiente (%)	Valor L•S
Sierra de Gádor	650 m.	35	16'12
Piedemonte	2.250 m.	13	6'46
Terrazas fluviales	250 m.	2	0'61
Sistema de cárcavas	350 m.	30	10'96

Finalmente, el factor **C • P** (vegetación, cultivos y prácticas de protección) se ha elaborado a partir del Mapa de Vegetación Actual a escala 1:50.000 (DIEZ GARRETAS,1996) y de la fotografía aérea a escala 1:20:000 del vuelo de noviembre de 1989. Los valores obtenidos se reflejan en el cuadro nº 2.

Cuadro nº 2.

Sistema de tierra	C	P	C•P
Sierra de Gádor	pinares con tomillares y tomillares con repoblación de pinos.	ninguna	0'07
Piedemonte	cultivos de regadío (parrales y agrios)	terrazas de infiltración	0'004
Terrazas fluviales	cultivos de regadío (agrios)	terrazas de infiltración	0'004
Sistema de cárcavas	matorral y erial	ninguna	0'16

La aplicación de la fórmula general con los valores de los factores en cada uno de los sistemas de tierras ha proporcionado los resultados siguientes:

Sistema de tierras	Valor de A = R•K•L•S•C•P
Sierra de Gádor.....	13'85 Tm/Ha./año
pie demonte.....	0,38 “
terrazas fluviales.....	0'07 “
cárcavas de la cuenca neógena.	20'00 “

De estos resultados se deduce que, a pesar de que el nivel de análisis contiene un grado de generalización alto, es posible observar que los niveles de peligrosidad geomorfológica ligada al proceso de escorrentía hídrica superficial son distintos en cada uno de los sistemas de tierras descritos; por lo que sus diferencias fisiográficas se corresponden también con distintas intensidades en los procesos morfodinámicos. Se observa que el valor más alto está en el sistema de cárcavas, en donde la pendiente de las laderas y la escasa cubierta vegetal se combinan como factores que favorecen la pérdida de suelo; mientras que el valor más bajo se encuentra en las terrazas fluviales recientes, algo lógico ya que estas áreas son más bien de acumulación que de erosión.

En la Sierra de Gádor los factores ladera-pendiente-suelo, que son importantes, se mitigan por la cobertura vegetal relativamente densa. Aún así es el sistema de tierras que tiene el segundo lugar en pérdida de suelo. Finalmente, en el piedemonte, la pendiente moderada, los cultivos y las prácticas de protección (terrazas de infiltración) rebajan sensiblemente la pérdida de suelo.

Considerando que la USLE clasifica el valor de **A** según la siguiente escala:

Ninguna o ligera erosión.....	< 10 Tm/Ha./año
Baja erosión.....	10 - 25 “
Moderada erosión.....	25 - 50 “
Acusada erosión.....	50 - 100 “
Alta erosión.....	100 - 200 “
Muy alta erosión.....	> - 200 “

se puede observar, como hecho general, los niveles bajos de erosión alcanzados, incluso en la Sierra de Gádor y en el sistema de cárcavas. Ello es debido a que los valores de **R** son bajos; en cuanto que las precipitaciones no son muy abundantes (253 mm. al año) y el valor medio de las precipitaciones máximas que se presentaron en un tiempo estimado de dos años es sólo de 36'9 mm. en 24 horas.

LAS UNIDADES DE TERRENO: DELIMITACIÓN Y CORTOGRAFÍA.

Es un nivel más elevado de análisis y como se señaló en la metodología, se ha trabajado a escala 1:25.000. La delimitación se ha realizado mediante la superposición de los mapas temáticos y con al asignación de los atributos de las unidades resultantes.

a) La elaboración del mapa litológico ha supuesto la simplificación de los afloramientos en asociaciones litológicas con comportamientos similares frente a los procesos morfogénéticos. Por ello se han considerado los grupos siguientes, ordenados de menor a mayor resistencia a los procesos mecánicos:

1. gravas, arenas y limos no consolidados pertenecientes a los cauces de los ríos, de las ramblas y a las terrazas fluviales recientes.
2. margas de la facies profunda de la cuenca neógena
3. margas arenosas con yeso de la formación detrítico-margosa
4. margas con depósitos de ladera (gravas y arenas)
5. filitas
6. conglomerados y arenas deltaicas
7. conglomerados torrenciales pliocuaternarios
8. arcillas rojas, conglomerados y arenas fluvio-marinos pliocuaternarios
9. conglomerado mediocementado de las terrazas fluviales y coluviones pleistocenos.
10. travertinos
11. calcarenitas conglomeráticas miocenas de borde de cuenca
12. costras calizas de varias decenas de centímetros de espesor que recubren ciertas áreas de las terrazas fluviales y de los glacis más antiguos
13. dolomías.

b) El mapa de pendientes se ha realizado según el método de los intervalos móviles (DENNES, 1976), previa regulación de la escala móvil a cinco intervalos clinométricos que responden a la metodología de la PAP/RAC/UNEP (MAP/UNEP/FAO, 1996):

1	0 - 3%	pendiente de nula a suave
2	3 - 12%	pendiente de suave a moderada
3	12 - 20%	pendiente de moderada a alta
4	20 - 35%	pendiente de alta a máxima
5	> - 35%	pendiente máxima.

El resultado es una cartografía muy detallada que hizo necesario elevar el nivel de generalización integrando pequeñas unidades poco representativas en las unidades vecinas; lo que permitió un mayor grado de legibilidad.

El mapa geomorfológico elaborado es un mapa geomorfológico básico en el que se representan caracteres morfológicos y morfogenéticos del territorio estudiado (Fig. 4). A partir de este mapa básico se han derivado dos mapas:

- un mapa morfológico, que es necesario como capa de información para la delimitación de las unidades, junto con el mapa de litofacies y el clinométrico y
- un mapa de dinámica geomorfológica (Fig. 5) en donde se representan las áreas sometidas a los procesos morfogenéticos dominantes presentes en el territorio y que, en función de su grado de actividad (activo, latente, inactivo), es un criterio para estimar el nivel de estabilidad de cada unidad de tierras, deduciéndose de ahí su peligrosidad geomorfológica y las causas que las producen.

En el mapa morfológico se han distinguido las siguientes unidades:

S₁ Ladera rectilínea	E Escarpe
S₂ Cumbre alomada	T Terrazas fluviales
S_b Ladera abarrancada	R Lecho del río o rambla
L_i Ladera irregular	V_c Valle en cuna
GT Cono de deyección con travertinos	D Talud de derrubios

De la superposición de los tres mapas (litológico, clinométrico y morfológico) han surgido 69 tipos de unidades cuya definición está significada mediante un conjunto de letras y números separados por puntos (cuadro nº 3). La letra inicial, con subíndice o no, se refiere a la forma; el número siguiente se refiere a la pendiente y el último a su litología. Así, **S_b. 4. 5** es una ladera abarrancada con una pendiente de 20-35% sobre filitas y **S_b. 4. 3** es otra ladera abarrancada con una pendiente 20-35% sobre margas arenosas con yesos. Las 69 unidades se representan en la Fig. 6 .

Las laderas rectilíneas (**S₁**) son de 4 tipos y se localizan sólo en la Sierra de Gádor ya sea sobre las dolomías o sobre las filitas con pendientes que oscilan entre el 12 y el 35%.

Las cumbres alomadas (**S₂**) (3 tipos) se han conservado sobre algunos retazos de filitas en culminaciones de interfluvios de la Sierra de Gádor y sobre los conglomerados torrenciales pliocuaternarios de la cuenca neógena. Sus valores de pendientes oscilan entre el 3 y el 20%.

Las laderas abarrancadas (**S_b**) son los tipos más numerosos (22) abarcando todos los valores de pendiente desde el 3% hasta más de 35% y todas las litologías susceptibles de ser abarrancadas, quedando excluidas las muy consolidadas (dolomías, travertinos, costras, **13-10-12**) o las que son propias de la colmatación de cauces fluviales actuales, en los que la pendiente es inferior al 3%.


























Las laderas irregulares (**L_i**) siguen en número de tipos (15) a las laderas abarrancadas. Son laderas que muestran una morfología irregular como consecuencia de la combinación de varios procesos morfogenéticos en su configuración, entre los que destacan los deslizamientos, los desprendimientos y la neotectónica. Abarcan todos los intervalos de pendiente, excepto el primero, lo que explica la irregularidad del perfil de la ladera en el que se suceden rellanos y



Escala 0 1km 2

Fig. 4. Mapa geomorfológico

LEYENDA DE LA FIGURA Nº 4

	Ladera rectilínea		Glacis de vertiente
	Cumbre redondeada		Talud de derrubios
	Interfluvio principal		Barrancos
	Falla		Cárcavas
	Falla supuesta		Terraza fluvial (T ₁)
	Escarpe		Terraza fluvial (T ₂)
	Desprendimiento gravitacional (cicatriz y masa desplazada)		Terraza fluvial (T ₃)
	Deslizamientos rotacionales (cicatriz y masa desplazada)		Terraza fluvial (T ₄)
	Deslizamientos		Lecho abandonado
	Glacis-cono (nivel 1) con cubierta de travertinos		Lecho de fondo plano
	Glacis (nivel 1)		Valle en cuna relleno
	Cotas de altitud		Garganta
	Núcleo urbano		

bruscas rupturas de pendiente. Estas laderas están elaboradas sobre seis tipos de litologías entre las que se pueden distinguir dos grupos: las facies margosas, con o sin yeso, y filíticas (3-2-4) susceptibles de moverse por deslizamientos, en determinadas condiciones o de ser abarrancadas; y las facies más consolidadas como los travertinos, los conglomerados o las calcarenitas (10-7-11) que han sido involucradas en los movimientos en masa.

Los tipos de escarpes (E) son 11 y están elaborados sobre litologías muy consolidadas (dolomías, travertinos) o en otras medianamente consolidadas (conglomerados); aunque también pueden aparecer en litologías menos resistentes por el hecho de que el proceso genético (zapamiento, desprendimiento, deslizamiento) haya involucrado masas litológicas subyacentes que afloran en la parte baja de los escarpes. En cuanto a su pendiente son las unidades que alcanzan los valores más altos de la tabla (5 y 4).

Las terrazas fluviales (T) se encuentran sobre conglomerados, gravas y arenas (1) propias de acumulaciones detríticas fluviales, con la variante de que estén medianamente consolidadas (9) o encostradas (12). Presentan pendientes muy débiles (1), a no ser las viejas terrazas desmanteladas o degradadas por procesos de arroyada (2-3).

Los glaciares (G) son sólo de 2 tipos y tienen una pendiente suave (2), a no ser que hallan sido afectados por la neotectónica o sean pequeños glaciares de ladera en cuyo caso alcanzan valores de pendiente medianos (3). Se han desarrollado sobre depósitos de arcillas y conglomerados pliocuaternarios (8) y algunos están encostrados (12).

Una variante de glaciar (GT) es la que está cubierta por una potente masa de travertinos, con alrededor de 10 m. de espesor, que fosiliza el 1º nivel de glaciar. Tiene valores de pendiente similares a los del otro tipo de glaciar (G) y sólo difiere de él por su cubierta travertínica. También hay sólo 2 tipos, en función de la pendiente.

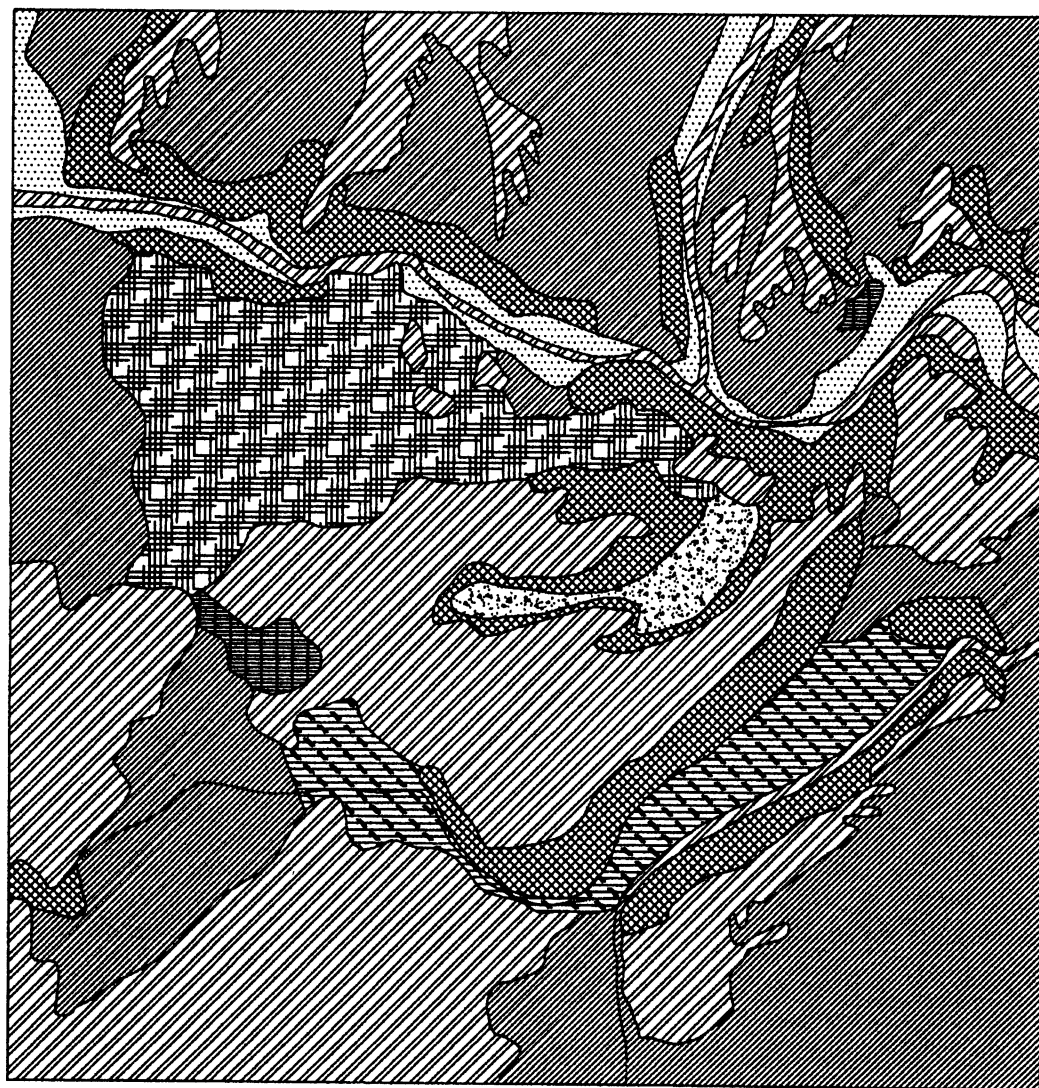
Los valles en cuna (V_c) son anchas incisiones debidas al abarrancamiento que, posteriormente, han sido retocadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, reptación) y, más tarde, modificadas por la intervención humana mediante campos de cultivo. La pendiente es suave (3-12%) y el sustrato está constituido por margas arenosas o por travertinos meteorizados (3-10), siendo la litología el criterio para diferenciar 2 tipos.

Sólo hay una unidad delimitada como talud de derrubios (D), elaborada sobre coluviones de dolomías y adosada al flanco de la Sierra de Gádor.

Finalmente, todos los cauces fluviales que tienen anchura suficiente han sido delimitados como lecho de río o rambla (R) y están colmatados por gravas arenas y limos como consecuencia del aluvionamiento.

ESTIMACIÓN DE LA PELIGROSIDAD GEOMORFOLÓGICA DE LAS UNIDADES DELIMITADAS.

En un primer nivel, se han inventariado en cada una de las unidades, mediante fotografía aérea y trabajo de campo, las **marcas de erosión**, los **procesos** que las producen, la **actividad** y **grado** de los procesos. El siguiente paso ha sido estimar el nivel de peligrosidad que afecta a cada unidad y el o los procesos dominantes que la producen, a partir de la información que ha proporcionado el paso anterior.



PROCESOS DOMINANTES.

	Erosion laminar.		Relleno antrópico.
	Abarrancamiento.		Inundación.
	Desprendimientos por gravedad.		Urbano.
	Deslizamientos rotacionales.		Lecho fluvial.
	Deslizamientos.		Curso fluvial.

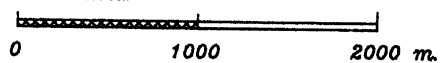
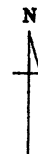


Fig. 5. Mapa de dinámica geomorfológica

Los criterios para asignar el grado de actividad de los distintos procesos han sido los siguientes:

Para la **escorrentía difusa**:

muy baja: - se observan algunas marcas de transporte de sedimentos en la superficie después de las últimas precipitaciones.

baja: - se ven marcas de transporte de sedimentos en la superficie.
horizonte A parcialmente erosionado.

moderada: - se ven marcas evidentes de circulación de sedimentos en la superficie.
en la parte de arriba de las pequeñas broyas de matorral se acumula grava y arena.
- horizonte A erosionado.

severa: - las marcas de circulación de sedimentos son numerosas, así como la insinuación de pequeños surcos.
- las broyas del matorral están descalzadas por la parte de abajo.
horizonte A muy delgado.

Para la **escorrentía concentrada**:

Se ha tenido en cuenta la profundidad de los surcos, reguerones y barrancos, en centímetros, así como su espaciado en metros según los baremos del ITC (VAN ZUIDAM y VAN ZUIDAM CANCELADO, 1979), distinguiendo grados de actividad *baja*, *moderada* y *severa*.

Para los **movimientos en masa**:

Por su recurrencia se han considerado:

activos: *actividad alta*: 1 vez en 2 años

actividad moderada: 1 vez en 10 años

actividad baja: 1 vez en 20 años

latentes: 1 vez en 50 años

inactivos: no funcionales en los últimos 50 años.

En cuanto a la superficie de ladera afectada, se ha considerado de grado *bajo* si afecta a < 25%; *moderado* si actúa sobre el 25-50%, y *alto* si abarca > 50%.

Para la escorrentía subsuperficial (**piping**), aparte de la observación de las marcas en las áreas no cultivadas, se recurrió a la encuesta entre los agricultores por la frecuencia que este proceso ocurre en los campos de cultivo. Los criterios son los siguientes:

muy alta: varias veces al año, coincidiendo con riegos por inundación de la parcela de cultivo o con precipitaciones abundantes.

alta: 1 vez en un año

moderada: 1 vez en 2 años

baja: 1 vez en 5 años

muy baja: 1 vez en más de 5 años



NIVELES DE PELIGROSIDAD.








	Muy baja.		Muy Alta
	Baja		Extrema
	Moderada		Urbano
	Alta		



Fig. 7. Mapa de la peligrosidad geomorfológica

Los procesos de **inundación fluvial** se han valorado según el baremo siguiente:

<i>muy alto:</i>	1 vez o más en 1 año
<i>alto:</i>	1 vez en 2 años
<i>moderado:</i>	1 vez en 10 años
<i>bajo:</i>	1 vez en 20 años
<i>muy bajo:</i>	1 vez en más de 20 años.

En la peligrosidad se han distinguido seis niveles: *muy baja, baja, moderada, alta, muy alta y extrema*. La suma de la actividad y del grado de cada proceso presente en cada unidad de diagnóstico es el nivel de peligrosidad estimado, tal como se refleja en el cuadro nº 3. Dicho grado de peligrosidad se ha cartografiado en el mapa de la figura 7 que, en combinación con el mapa de la dinámica geomorfológica (Fig. 5), indica los grados de peligrosidad relacionados con los procesos dominantes en cada unidad y, de forma más completa, en conjunción con el cuadro nº 3 se aprecian los procesos no solo dominante sino también los secundarios, que concurren en cada unidad.

Cuadro nº 3.

Unidad de diagnóstico	Marcas de erosión	Procesos	Estado	Grado	Peligrosidad
S ₁ 13	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa	activo	bajo	muy baja
S ₁ . 3.5	- surcos y reguerones de 50-500 cm.de profundidad	- arroyada difusa - arroyada conc.	activo activo	alto alto	muy alta
S ₂ . (todas)	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa	activo	muy bajo	muy baja
S _b . 5. (7) (9)(5)(11)	- horizonte A erosionado	- arroyada difusa	activo	severo	muy alta
S _b . 4.	- surcos, reguerones, cárcavas de 50 a más de 500 cm. de profundidad	- arroyada conc.	activo	severo	
S _b . 5. S _b . 4. (6)(2)(8)(3) S _b . 3.	- horizonte A erosionado	- arroyada difusa	activo	severo	extrema
	- surcos, reguerones, cárcavas de 50 a más de 500 cm. de profun.	- arroyada conc.	activo	severo	
	- túneles subsuperficiales	- <i>piping</i>	activo		
S _b . 3. (9)(7)(5) (11)	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa - arroyada con.	activo activo	moder. moder.	alta
S _b . 2.	- surcos y reguerones de 50-500 cm. de profundidad				

Unidad de diagnóstico	Marcas de erosión	Procesos	Estado	Grado	Peligrosidad
S_p. 2. (3)(2)	- horizonte A parcialmente erosionado - surcos y reguerones de 50-500 cm. de profundidad - túneles subsuperficiales	- arroyada difusa - arroyada conc. - <i>piping</i>	activo activo activo	bajo bajo moder.	moderada
L_i. (todas las pendientes). (7)(10)	- cicatrices de despegue - masas desplazadas - túneles subsuperficiales	- deslizamientos rotacionales, - desprendimientos - <i>piping</i>	latente activo	bajo moder.	baja
L_i. 5.3	- masas desplazadas - túneles subsuperficiales - cárcavas	- deslizamientos - desprendimientos - <i>piping</i> - arroyada concent.	latente latente activo activo	bajo bajo moderado alto	alta
L_i. 4.11	- cicatrices de despegue - masas desplazadas - túneles subsuperficiales - cárcavas	- deslizamientos rotacionales - desprendimientos - <i>piping</i> - arroyada concent.	latente activo activo activo	moderado (>50% de la ladera) moderado moderado alto	muy alta
L_i. 4.	- cicatrices de despegue	- deslizamientos rotacionales	activo	bajo	moderada
L_i. 3. (3)(2)(4)(5)	- masas desplazadas	- <i>piping</i>	activo	alto	
L_i. 2.	- túneles subsuperficiales				
E. 5.13	- no hay suelo	- arroyada difusa	activo	alto	baja
E. 5.10	- cicatrices de desplomes - diaclasas de descompresión - caos de bloques al pie del escarpe	- desprendimientos	activo	alto (> 50% de la ladera)	alta
E. 5. (7)(9)	- cicatrices de desplomes - diaclasas de descompresión - caos de bloques al pie del escarpe - <i>tafonis</i>	- desprendimientos - <i>tafonización</i>	activo activo	moder. (>50% de la ladera) bajo (25-50% lad.)	muy alta
E. 5. (3)(8)(6)	- cicatrices de desplomes - diaclasas de descompresión - caos de bloques al pie del escarpe	- desprendimientos	activo	alto (>50% de la ladera)	muy alta

Unidad de diagnóstico	Marcas de erosión	Procesos	Estado	Grado	Peligrosidad
E. 4. (10)(7)(3)	- cicatrices de desplomes - bloques desplazados	- desprendimientos	activo	alto (>50 de la ladera)	alta
E. 3.					
GT. y G. (todas)	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa	activo	muy bajo	muy baja
V. (todas)	- ninguna aparente	- arroyada difusa	activo	muy bajo	muy baja
D. 5.9	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa	activo	moder.	moderada
T. 3. (9)(12)(1)	- horizonte A parcialmente erosionado	- arroyada difusa	activo	muy bajo	muy baja
T. 2.					
T. 1.1	- acumulación de aluviones	- aluvionamiento - inundación	activo activo	moder. moder.	moderada
R	- acción del río y ramblas	- transportes de aluviones - inundación	activo	muy alto	muy alta

BIBLIOGRAFÍA

- CENDRERO, A., et al., 1986, *Mapa geocientífico de la provincia de Valencia*, Diputación Provincial de Valencia, Universidad de Valencia, Universidad de Cantabria.
- CHRISTIAN, C.S. y STEWART, G.A., 1958, "The concept of land units and lands systems", *Proc. 9th Pacific Science Congress*, pp. 74-81.
- DENNESS, B., GRAINGER, P., 1976, "The preparation of slope maps by the movil interval method", *Area*, pp. 213-219.
- DIAZ DE TERAN, J.R. et al., 1991, *Geomorfología y edafología de Guipúzcoa*, Departamento de Urbanismo, Arquitectura y Medio Ambiente de la Diputación Foral de Guipúzcoa.
- DIEZ GARRETAS, B. et al., 1996, *Estudio fitosociológico integral, modelos de evaluación biológica y restauración de la vegetación en un territorio amenazado por la desertificación. Cuenca del río Andarax (Almería, España)*, Proyecto becado por la FUNDACION "RAMON ARECES", (policopiado).
- FERRE BUENO, E., et al., 1994. *Elaboración de la cartografía y delimitación de Unidades Geomorfoedáficas del Parque Natural "Montes de Málaga"*, Proyecto financiado por la A.M.A. Junta de Andalucía, (policopiado).
- FERRE, E., ASENSI, A., SENCIALES, J.M^a, 1994, "Procesos de erosión y dinámica de la vegetación en bancales abandonados en el Valle del Andarax (prov. de Almería)" en *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras*, S.E.G., Inst. Pirenaico de Ecología, Institución "Fernando el Católico", pp. 31-42.

- FRANCES, E., CENDRERO, A., MOREY, M., 1989, "Un modelo de evaluación del territorio para la planificación, con base geomorfológica, aplicado a la vertiente cantábrica", *Cuaternario y Geomorfología*, pp. 106-115.
- GRIESBACH, J.C., ROJO, L., RUIZ, D., GIORDANO, A., PASOVIC, 1996, *Guidelines for the Application of a Common Consolidated Methodology for Mapping of Rainfall-Induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas*, Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP) & Dirección General de Conservación de la Naturaleza (DGCONA) with the cooperation of FAO, Ed., PAP/RAC, Split, 110 pp.
- ICONA, 1986, *Estudio integrado del Medio Físico de la Cuenca del río Adra. VII, Pérdidas de Suelos*, Proyecto LUCDEME, Granada, III parte, Geomorfología.
- ICONA, 1988: *Mapa de suelos. Albama de Almería*. Hoja 1044. Escala 1:100.000, Proyecto LUCDEME, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, C.S.I.C., Madrid, 147 p. + 1 mapa.
- PANIZZA, M., 1988, *Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla pianificazione territoriale e alla valutazione d'impacto ambientale*, La Nova Italia Scientifica, Roma.
- VAN ZUIDAM, R. A. y VAN ZUIDAM CANCELADO, F. I., 1.979, *Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach*, ITC Textbook of Photo-Interpretation VII-6, Enschede, The Netherlands.
- VERSTAPEN, H.TH., y VAN ZUIDAM, R., 1991, *El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos*, Enschede, The Netherlands, 2ª ed. (english, français, español), 89 p.