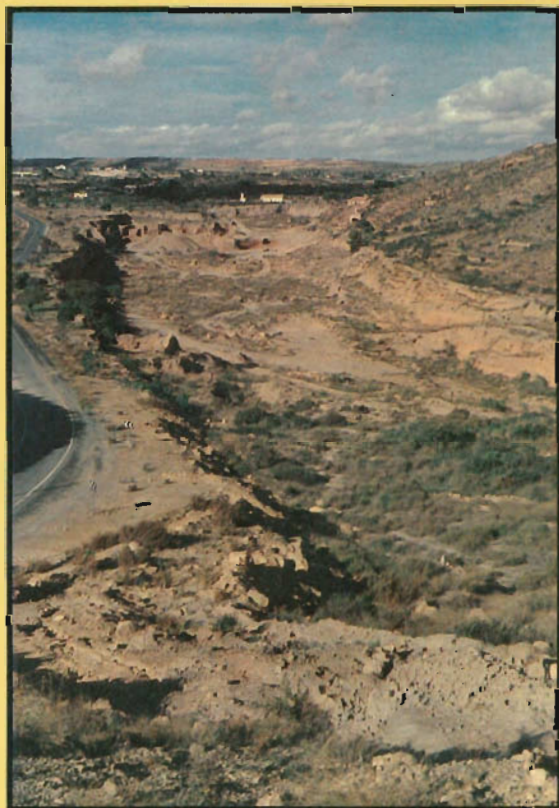
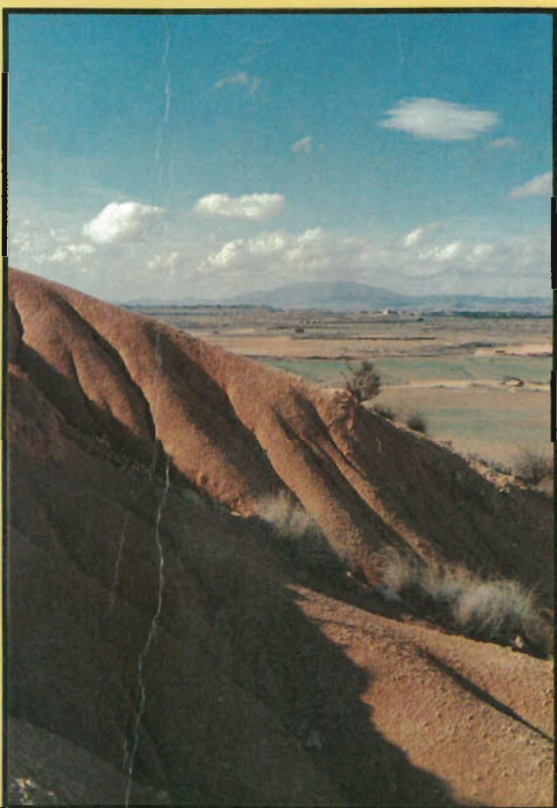


CARMELO CONESA GARCÍA

LA ACCIÓN EROSIVA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL CAMPO DE CARTAGENA



UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA FÍSICA, HUMANA Y ANÁLISIS REGIONAL

CAJAMURCIA • CAJA DE AHORROS DE MURCIA

**LA ACCIÓN EROSIVA DE LAS AGUAS
SUPERFICIALES EN EL CAMPO DE CARTAGENA**

CARMELO CONESA GARCÍA

**LA ACCIÓN EROSIVA DE LAS AGUAS
SUPERFICIALES EN EL CAMPO
DE CARTAGENA**

UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA FÍSICA, HUMANA Y ANÁLISIS REGIONAL

CAJAMURCIA • CAJA DE AHORROS DE MURCIA

1989

I.S.B.N.: 84-7684-209-0

Depósito Legal: M-43895 -1989

Fotocomposición: COMPOBELL, S. A. Murcia

Imprime: LERKO PRINT, S. A. Madrid

A MI HIJA ESTHER

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
I. PRESENTACIÓN DEL ÁREA. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	13
1. La moderada intensidad del relieve en relación con el entorno	14
2. Valoración cuantitativa del relieve comarcal	14
3. Conclusiones	20
II. EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	21
1. Estimación empírica de la erosión hídrica anual del Campo de Cartagena	22
2. Erosión del suelo y sedimentación fluvial en cuencas de drenaje esporádico. Valoración cuantitativa	30
2.1. Descripción del modelo "Games"	30
2.2. Base de datos	35
2.3. Parámetros de calibración	35
2.4. Valoración de los resultados	45
2.5. Problemas de erosión del suelo y sedimentación fluvial	53
3. Resultados experimentales de arroyada y producción de sedimentos	56
3.1. Ubicación de parcelas experimentales. Cuenca de la Rambla de la Muela	57
3.2. Análisis comparativo de los resultados	60
4. Conclusiones	63
III. EFECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS AVENIDAS. EL IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MORFOLOGÍA DE CAUCES	65
1. Erosión hídrica e impacto geomorfológico	65
2. La erosión en cauces de corriente torrencial	74
2.1. Observaciones de campo: Metodología y resultados	74
2.2. Proceso de erosión en márgenes de ramblas	78
2.3. Tipos de ruptura	88
3. Conclusiones	102

IV. ACTUACIONES HUMANAS SOBRE LOS PROCESOS DE EROSIÓN	103
1. Evolución de los usos del suelo	103
1.1. En cabeceras y laderas montañosas. La deforestación	104
1.2. En superficies de glacis y abanicos aluviales	104
1.3. En lechos de inundación episódica de las ramblas	110
1.4. En zonas semiendorréicas y costeras	113
2. Prácticas de control sobre los procesos erosivos	114
2.1. Ordenación de laderas. Prácticas de control de la escorrentía superficial	114
2.2. Ordenación de superficies de glacis	120
2.3. Control de la escorrentía concentrada	121
3. Conclusiones	129
REFERENCIAS	131

INTRODUCCIÓN

El Campo de Cartagena está estructurado en unidades de drenaje independientes, organizadas en torno a ramblas que vierten directamente al mar. Estas constituyen sistemas naturales "abiertos", condicionados por diversos factores que se interrelacionan y modifican continuamente. "Cualquier alteración en alguno de estos parámetros, como por ejemplo un aumento de la precipitación, un cambio en los usos del suelo, etc., produce una alteración en el sistema que se traduce automáticamente en una modificación de la dinámica y la morfología del cauce" (MORISAWA, 1985).

En este sentido, la adopción de prácticas agrícolas a veces inadecuadas, la explotación desde antiguo de los recursos mineros, el aumento reciente de las extracciones de agua subterránea y la salinificación de ciertos sectores, además de otras actuaciones humanas directamente relacionadas con los problemas de escorrentía superficial, han influido decisivamente en las condiciones medioambientales de esta comarca, afectando de un modo peculiar a la degradación del suelo y a la dinámica de los procesos erosivos.

Cada cuenca de drenaje actúa, por tanto, como un sistema proceso-respuesta autorregulado, de forma que cualquier modificación en un punto repercute a su vez en otro lugar de la cuenca, bien sea en su morfología, en los materiales movilizados o en los procesos actuantes (SCHUMM, 1977).

Desde este punto de vista merece particular interés el estudio de la erosión hídrica, ya que es uno de los factores más dinámicos de los citados sistemas, y sobre todo en un medio mediterráneo semiárido como el Campo de Cartagena, en el que el drenaje es esporádico y torrencial.

A continuación, en el siguiente apartado se presentan, a modo de introducción del soporte físico de estos sistemas, los aspectos topográficos generales del conjunto del Campo, para tratar más adelante, los procesos de erosión, la evaluación de la erosión hídrica anual y estacional, la identificación de problemas de erosión del suelo y sedimentación fluvial, los efectos geomorfológicos de las avenidas y las actuaciones humanas.

I

PRESENTACIÓN DEL ÁREA. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

La unidad geográfica tradicionalmente conocida como Campo de Cartagena se extiende a lo largo de 1.698 Km², de los que el 80 por ciento corresponden a llanura y el resto a área montañosa. Limita al Norte con terrenos béticos cuyos crestones parten de las inmediaciones de San Miguel, alineándose en torno a las Sierras de Altaona, Columbares, Villares, Puerto y Carrascoy hasta alcanzar la cota 1.065 metros; por el Este, el Mar Mediterráneo, desde la desembocadura del río Seco, en la provincia de Alicante, hasta Cabo Palos, y el litoral interior del Mar Menor. El límite Sur lo constituye una costa recortada y abrupta entre Cabo de Palos y la desembocadura de la Rambla del Valdelentisco. Finalmente, al Oeste, existe una delimitación natural que sigue la línea divisoria occidental de la cuenca de la Rambla del Albuñón.

El predominio de las áreas de deposición postorogénica confiere al relieve llano el carácter de dominante en la personalidad fisiográfica de la comarca. Existen, no obstante, formas topográficas muy contrastadas, cuya caracterización influye decisivamente en el funcionamiento hidrológico de las unidades de drenaje que componen dicho espacio. Entre las principales características que merecen destacar por su incidencia en estos aspectos, cabe señalar:

- a. La enorme extensión relativa que ocupa la llanura. Más del 32 por ciento de la superficie total tiene una pendiente inferior al 1 por ciento, umbral máximo por debajo del cual el Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier (1968) considera tierras llanas, siempre a escalas comprendidas entre 1/25.000-1/100.000 e incluso menores. A ellas hay que añadir los terrenos que teóricamente presentan una morfología semiplana, pero que a lo largo de muchos años de prácticas agrícolas han sido perfectamente acondicionados en terrazas de cultivo, creando microrrelieves llanos, elementales, cuya extensión mantiene estrecha dependencia con la disposición de las curvas de nivel y el trazado de las parcelas.
- b. La variedad del relieve netamente marcada por la oposición de una vasta llanura prelitoral y zonas marginales montañosas desigualmente distribuidas al N y al S. A la monotonía morfológica del glacis cuaternario que recorre el Campo de Cartagena en dirección al Mar Menor y que únicamente interrumpen las Sierras de Los Victorias, de Los Gómez y los Cabezos del Pericón, Gordo y del Carmolí, se opone el acentua-

do carácter montuoso de las unidades de Romero y Carrascoy (800-1.000 metros de altitud) y la complejidad orográfica de las sierras costeras. La relación entre la diferencia máxima de altura y la extensión del área hace que la variedad orográfica adquiera aquí uno de los valores más elevados de la provincia (0,627), situándose muy por encima del coeficiente obtenido para el conjunto de la región (0,177).

- c. La altitud relativamente baja de las tierras, ya que en términos medios apenas alcanzan los 154 metros de altura sobre el nivel del mar.
- d. El acusado contraste entre las franjas montañosas denudadas por la erosión que bordean el Campo y las áreas de depósito de materiales erosionados que coronan el relleno de la cuenca del Mar Menor. El relieve ejerce gran influencia como factor erosivo especialmente en el sector más meridional de la comarca, donde la capacidad de arrastre de la escorrentía superficial, en épocas de lluvias torrenciales, se incrementa extraordinariamente como consecuencia de la fuerte inclinación y desnudez de las vertientes, al tiempo que prospera la degradación de los suelos y la funcionalidad de las ramblas.

1. LA MODERADA INTENSIDAD DEL RELIEVE EN RELACIÓN CON EL ENTORNO

En comparación con las áreas circundantes, puede decirse que a nivel de comarca, sólo 80 Has, es decir un 0,05 por ciento del total de sus tierras sobrepasan la isohipsa de los 1.000 metros, mientras que en el ámbito regional de Murcia, los 1.186 Km² que representan los espacios comprendidos en este intervalo suponen, en términos relativos, el 10,50 por ciento de los 11.319 Km² del total de la región. Por su parte, el conjunto del territorio español, con 90.670 Km² de tierras por encima de la cota señalada, que suponen el 18 por ciento de su superficie, arroja un índice considerablemente más alto que el de los modestos relieves del Campo de Cartagena.

Este análisis permite ya una primera valoración general de la función que desempeña la topografía en las diferentes unidades hidrológicas. La escasa proporción de tierras altas (≥ 1.000 metros) no es suficientemente representativa, por cuanto la altitud de los relieves no resulta favorable para el desarrollo de procesos periglaciares, siendo en cambio frecuentes las formas de acumulación aluvial (abanicos torrenciales, barras de lecho de ramblas), propias de medios semiáridos.

2. VALORACIÓN CUANTITATIVA DEL RELIEVE COMARCAL

Es obvio que la expresión gráfica reviste un indudable interés en el tratamiento cuantitativo de aspectos tan significativos del paisaje como la fisiografía o el relieve. Un buen ejemplo de ello es la elaboración de la curva hipsográfica de la fig. 1, cuya interpretación permite conocer la proporción de superficie que hay a distintas altitudes (o alturas), por encima o por debajo de un plano de referencia, para el que se han considerado los equivalentes a la actitud media de la comarca y al nivel del mar medido en Alicante.

Esta curva nos muestra la importancia de las tierras comprendidas en el intervalo de los 0-200 metros que representan el 71,8 por ciento de la superficie, así como la existencia de un relieve enérgico, reducido en extensión pero con más de 600 metros de altura. Este último corresponde a la Sierra de Carrascoy y cumbre del Algarrobo; su máxima expresión gráfica la da la verticalidad que adopta la curva en su borde derecho. Entre ambos tipos de unidades

existe un área de altitudes intermedias, cuya diferencia en altura respecto a su nivel de base acentúa particularmente la envergadura de los relieves costeros. En el gráfico se traduce mediante una brusca ruptura de pendiente a partir de los 300 metros. En realidad, se trata de bandas montañosas de escasa compacidad que cubren una superficie de 278 Km², lo que equivale a algo más del 16 por ciento del total estudiado.

Todo ello hace pensar en áreas planares, superficies de glacis cuyo declive apenas rebasa el 1 por ciento, terrenos a veces acaravados, consecuencia de la erosión sobre rocas de naturaleza blanda, principalmente margas y arcillas.

Una visión más clara sobre el carácter moderado del relieve la ofrece el histograma de frecuencias de altitudes relativas (fig. 2) y el mapa de la figura 3.

No obstante, la importancia de esta síntesis gráfica radica en que, gracias a ella, pueden calcularse otros significativos e interesantes índices que permitirán conocer la altura media comarcal y el coeficiente orográfico.

La altura media se obtiene al relacionar el volumen de los relieves y la superficie del área de cálculo. Con ayuda del histograma de altitudes relativas resulta fácil calcular el volumen. Multiplicando las superficies parciales inscritas en los intervalos de las isohipsas por la media de los valores extremos de cada intervalo, se deducen los volúmenes parciales; y, sumando éstos, se determina el volumen total referido a la comarca. Los resultados obtenidos por este procedimiento son:

Cuadro 1
Distribución de altitudes relativas

Valores extremos del intervalo (m)	Superficies parciales (Km ²)	Altura media del intervalo (Km)	Volumen parcial (Km ³)
0 - 100	761,38	0,05	38,609
100 - 200	458,29	0,15	68,743
200 - 300	290,02	0,25	72,505
300 - 400	102,90	0,35	36,015
400 - 600	75,56	0,50	37,780
600 - 800	5,60	0,70	3,920
800 - 1.000	4,25	0,90	3,825
Superficie total	1.698,00	Volumen total	260,857

Superficies planimetradas sobre el M.T.N., 1/50.000

Luego la altura media comarcal es igual a

$$\frac{260,857}{1.698} = 0,154 \text{ Km} = 154 \text{ m.}$$

El coeficiente orográfico es un índice elaborado por FOURNIER, producto de multiplicar la altura media por el coeficiente de masividad, que es función de aquélla. Según este autor, se considera que el factor de relieve presenta irregularidad y, por tanto, una morfología diferenciada, cuando el coeficiente orográfico es superior a 6.

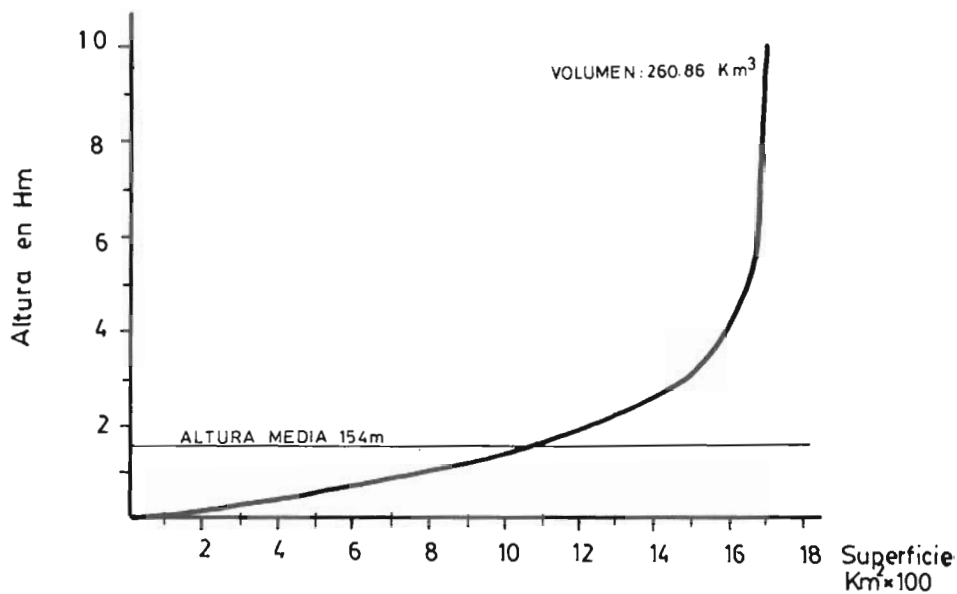


Fig. 1.- Curva hipsométrica del Campo de Cartagena

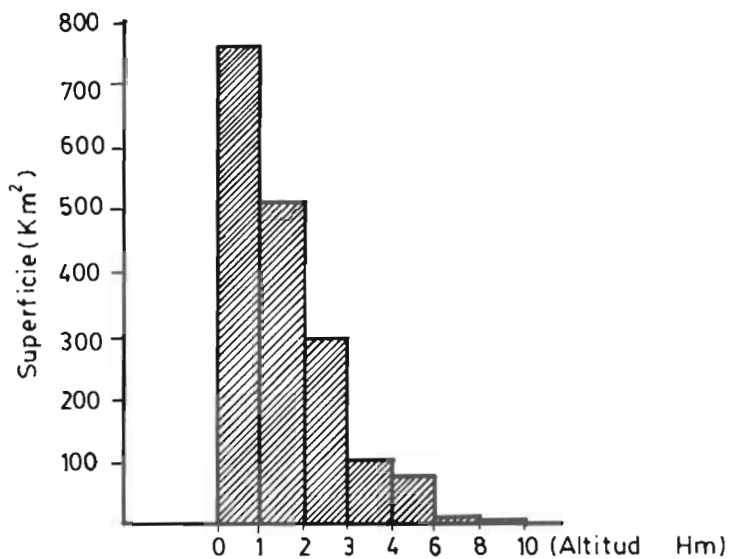


Fig. 2.- Histograma de frecuencias de altitudes relativas

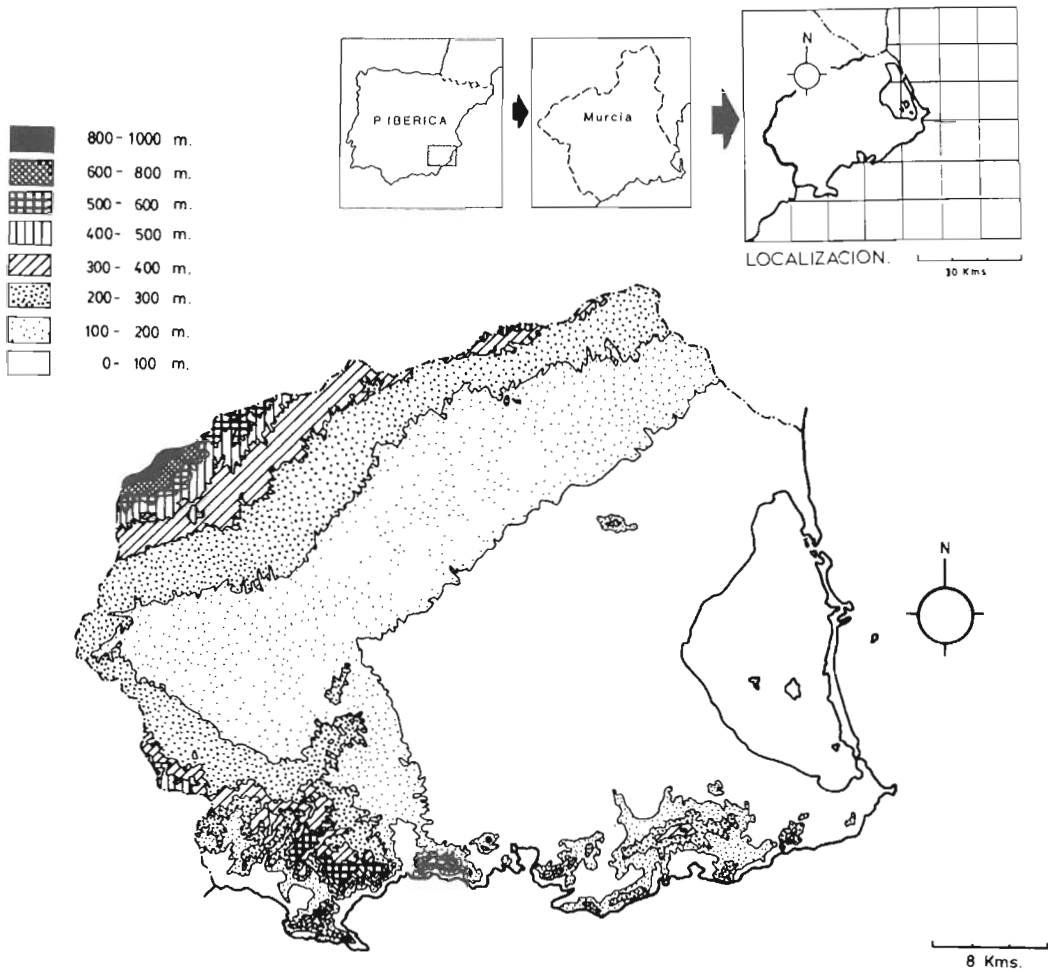


Fig. 3.- Mapa de altitudes relativas. Campo de Cartagena

Coefficiente de masividad = altura en metros/superficie en Km². En consecuencia, el coeficiente de masividad del Campo de Cartagena es igual a:

$$\frac{154}{1.698} = 0,09069$$

luego el coeficiente orográfico = $154 \times 0,09069 = 13,97$.

Este coeficiente significa un relieve modestamente accidentado. Su valor engloba la totalidad del Campo, pero no refleja, en cambio la fisiografía local que es la que, en

definitiva, interesa por su peculiar relevancia en los usos del suelo, procesos geomorfológicos y riesgos naturales. Así, mientras amplias zonas llanas de FuenteAlamo, Torre Pacheco, San Javier y San Pedro del Pinatar registran coeficientes inferiores a 3, los sectores Nevado-Filábrides de las Sierras del Algarrobo, Lo Alto, Los Cañavates, Cabezo de Majasarte y los terrenos de la Unidad Intermedia de Peñas Blancas rebasan el valor 100.

Estos factores, localizados de forma muy generalizada, nos sitúan en un área hidrológicamente poco activa, aunque existen sectores particularmente adversos que entrañan importantes riesgos y daños potenciales. La efectividad de los procesos erosivos se manifiesta mayormente en las cuencas hidrográficas litorales, dotadas de fuertes pendientes y litologías poco permeables, y donde prácticamente ha sido imposible la instalación humana. Solamente el complejo industrial del Valle de Escombreras y los núcleos de Portmán, La Azohía y Cartagena logran ubicarse junto a la costa, pero con las consiguientes limitaciones impuestas por las sierras y el mar a su crecimiento físico. La ciudad de Cartagena, que es la que ofrece más garantía de expansión, sólo tiene posibilidad de crecer hacia el N. El resto de los asentamientos turístico-residenciales, pesqueros e industriales (el "hoyo" de Portmán) o depresiones intramontanas cuaternarias se encuentran rodeadas por los relieves Alpujárrides. Estos núcleos e instalaciones son, por tanto, los que mayores daños suelen registrar cuando sobrevienen fuertes avenidas.

Con frecuencia, en los relieves costeros se insinúan acusadas pendientes que modifican sustancialmente la calidad del medio, tras repercutir de forma directa en la erosionabilidad y fragilidad del paisaje.

Podría definirse la fragilidad como el grado de susceptibilidad al deterioro ante la incidencia de determinadas actuaciones. Puede considerarse también como "el inverso de la capacidad de absorción de posibles alteraciones sin pérdida de calidad" (CLAVER FARIAS, 1981). En cualquier caso, la vulnerabilidad del paisaje en las desnudas laderas meridionales de las tierras occidentales se halla estrechamente condicionada por el carácter crítico de las pendientes. Prescindiendo de los sectores acantilados, el declive más pronunciado (45-60°) se observa al SE de La Picadera, en el espigón que forma el paquete de calizas triásicas del Alpujárride Inferior situadas entre Cala Abierta y Cabo Tiñoso. Esta misma serie de calizas tableadas aflora en el Cabezo Colorado, Puntal del Moco y El Roldán, bajo la forma de estructuras fuertemente plegadas y desniveles bruscos que se traducen en pendientes de 40-50°.

Gran parte de la Unidad Intermedia (Peñas Blancas, Cabezo de la Panadera, Collado de Mazarrón), los relieves alpujárrides del Cambrón, La Yegua, Morra de los Garabitos, Collado del Bolete y Sierra de la Muela presentan también valores críticos (30-45°).

En el Algarrobo, los mármoles calizo dolomíticos del Triásico Superior se disponen buzando hacia el E, con más de 30° de inclinación.

Las sierras suorientales, pese a la densa red de fracturas que las tapizan en dirección NW/SE, son comparativamente menos escarpadas. El relieve más abrupto (terrenos cámbricos y pérmicos de Punta Negra y Cabo Negrete) tiene una pendiente media del orden de 40-45°. En el resto de las montañas, a excepción de las Sierras Gorda, de la Fausilla, Cerros de San Julián, de la Campana, Morra Alta y Pico del Horcao, la inclinación es moderada (5-25°).

Sin embargo, en la inmensa mayoría del territorio comarcal (el 86,2 por ciento) tampoco las pendientes oponen serios obstáculos a la práctica de acondicionamientos y lucha contra la erosión hídrica. Más del 55 por ciento de sus tierras representa una topografía planar, suavemente inclinada hacia el E, con una pendiente media situada en torno a 1,15 por ciento (Cuadro 2).

Cuadro 2
Distribución de pendientes relativas

Intervalos de pendientes	Superficie (%)	Superficie (Km ²)	Superficie acumulada (Km ²)
≤ 1	32,87	558,13	
2 - 3	21,56	366,09	924,22
4 - 5	18,25	309,90	1.234,12
6 - 10	5,84	99,16	1.333,28
11 - 15	2,35	39,90	1.373,18
16 - 20	5,34	90,67	1.463,85
21 - 30	4,67	79,30	1.543,15
31 - 40	3,89	66,05	1.609,20
41 - 50	2,40	40,75	1.649,95
≥ 51	2,83	48,05	1.698,00

Superficies planimetradas sobre la base del M.T.N. 1/100.000.

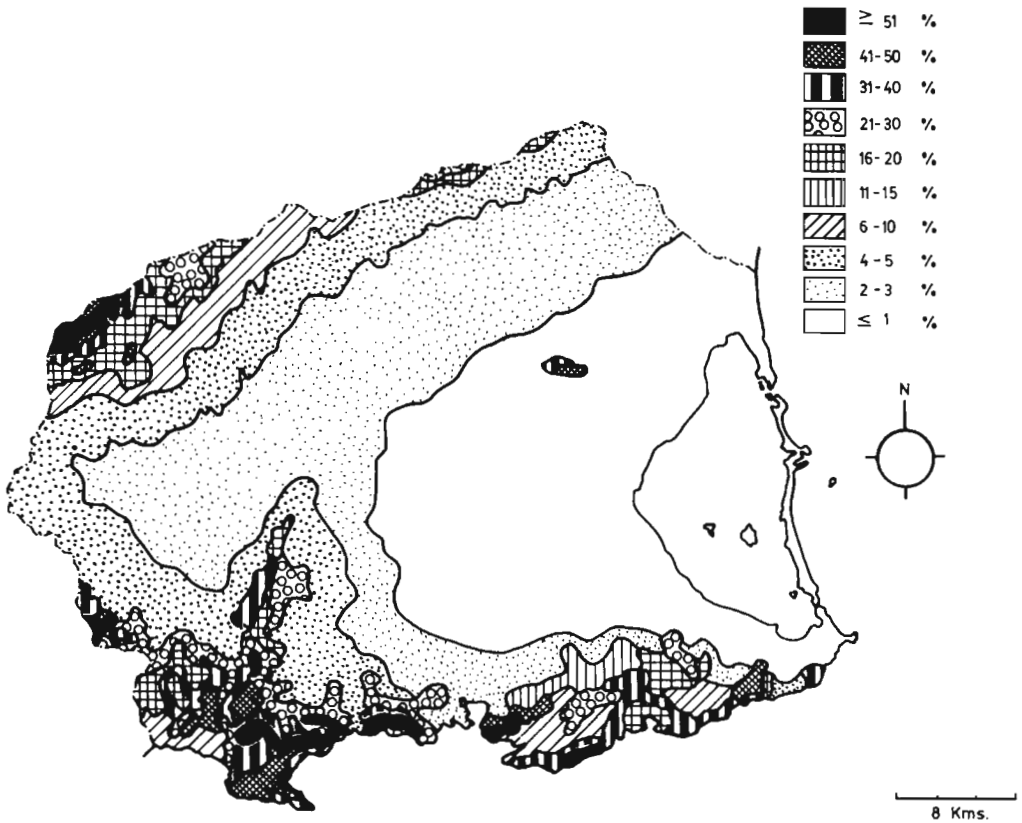


Fig. 4.- Mapa de pendientes relativas. Campo de Cartagena

3. CONCLUSIONES

A pesar del carácter llano dominante de buena parte del Campo de Cartagena, el estudio de la erosión hídrica de esta comarca encierra gran complejidad, dada la existencia de formas muy variadas, heredadas y actuales, que ponen de manifiesto la influencia de fenómenos hidrológicos singularmente dinámicos sobre una morfología frágil y cambiante. A la simplicidad morfológica de las superficies de glaciares extendidos en dirección al Mar Menor y que únicamente interrumpen las Sierras de Los Victorias, de Los Gómez y los Cabezos de Pericón, Gordo y Carmolí, se oponen las formas acusadamente accidentadas de la Sierra de Carrascoy (mitad occidental) y la irregularidad orográfica de las sierras costeras.

La monotonía morfológica de las tierras de la Ribera del Mar Menor, Torre Pacheco, Fuente Alamo, donde la llanura es la nota dominante, contrasta con una periferia montañosa, con sistemas de drenaje individualizados, pero suficientemente complejos y activos como para atribuirles un papel decisivo en la erosionabilidad hídrica de la comarca.

En los sectores más meridionales el relieve ejerce especial influencia como factor erosivo; a menudo se observan vertientes de fuerte inclinación y desnudez que aceleran extraordinariamente, en época de intensos aguaceros, los procesos de arrastre superficial. Las Sierras de Carrascoy, del Algarrobo, Lo Alto, La Muela y Peñas Blancas, dotadas de un índice orográfico superior a 100, son objeto de importantes pérdidas de suelo, claramente asociadas a liberaciones rápidas de sedimentos por escorrentía torrencial.

II EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

La identificación de los procesos de erosión hídrica y la evaluación de la pérdida correspondiente de suelo han sido y continúan siendo objetivo prioritario en la investigación de muchos países. Diversos Organismos (Agricultural Research Service, 1973; Environmental Protection Agency, 1973...) y autores como SCHUMM y HADLEY (1957), FOURNIER (1960, 1972) MEYER y WISCHMEIER (1969), WILLIAMS (1971), ATESHIAN (1974), MASSON (1972 y 1976), PIEST, BRADFORD y WYATT (1975), THORNES (1976, 1980) FOSTER et al. (1977), WISCHMEIER y SMITH (1978), HOLY (1980), MORGAN (1980, 1982), KIRBY y MORGAN (1984), COOK, DICKINSON y RUDRA (1985) han demostrado una especial preocupación por estas cuestiones, aportando modelos empíricos y conceptuales de erosión.

Para la vertiente mediterránea española, la magnitud del problema de la erosión ha sido puesta ya de manifiesto en sucesivas ocasiones: en 1956 por GARCÍA FERNÁNDEZ, refiriéndose de manera singular a las provincias de Almería, Granada y Murcia; más recientemente por ABREU y PIDAL (1975), la Comisión Interministerial del Medio Ambiente (CIMA) en su Informe General: Medio Ambiente en España (1978), ICONA (1982), LÓPEZ ONTIVEROS (1984), LÓPEZ BERMÚDEZ (1984) (1986) y GRUPO DE TRABAJO REGIONAL DEL SEGURA (1985). En general todos coinciden en calificar la erosión de las tierras mediterráneas como uno de los problemas medioambientales más graves que exigen especial atención por parte de todos, particularmente por los responsables de la agricultura y de la planificación territorial.

En el mejor de los casos, la acción del hombre sólo puede traducirse en un intento, muchas veces conseguido, de conservar o mejorar las condiciones de protección del suelo agrícola (mediante acondicionamientos de laderas, construcción de diques, abanalamientos adecuados...). En este sentido, los suelos agrícolas de gran parte del Campo de Cartagena suscriben una fase en la que el proceso destructivo no supera mucho al generativo, y ello merced a la fijación impuesta por las prácticas agrícolas y a las escasas pendientes.

Pero es, en definitiva, la actual distribución de los usos del suelo, unida a la topografía y a las indigencias pluviométricas del área, la que establece una neta dicotomía entre el llano y las sierras, entre los sectores de regadío y los secanos marginales.

Los espacios forestales son muy escasos. Se reducen a 54,2 Km² distribuidos irregularmente en la Sierra de la Escalona, sectores altos de las cuencas del Río Seco y Barranco de Grajera, Sierra de los Villares, Sierra del Puerto, relieves occidentales de Carrascoy, Cabezo

de la Fuente, Peña del Águila, Monte de las Cenizas, Cerro de Atalaya y Sierra de la Muela, lo que representa el 3,2 por ciento de la superficie total. Es decir que casi la totalidad de la superficie comarcal carece de condiciones naturales inhibitorias de los procesos erosivos.

La superficie cubierta por vegetación espontánea tipo pastizal-matorral sin arbolado se cifra en 189 Km². Otros 119 Km² corresponden a suelo improductivo. Las restantes tierras son agrícolas en su mayor parte. Aproximadamente 200 Km² se hallan ocupados por cereales, mientras que 150 Km², equivalentes al 8,8 por ciento de la superficie del Campo Cartagenero, se destinan a especies arbóreas de secano, cultivadas incluso en el cauce de las ramblas con el fin de desacelerar en él los procesos de erosión y arrastre. Por último, existe una extensa área (44,1 por ciento del total de tierras de la comarca) dedicada a cultivos de regadío y labores intensivas con y sin arbolado (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1984).

Concretamente, del 96,8 por ciento de las áreas que en estado natural podrían desequilibrar el proceso de edafogénesis y favorecer la erosión superficial, sólo el 18,9 por ciento de dicha superficie y el 18,3 por ciento del territorio comarcal puede considerarse como óptima y direccionada hacia una importante pérdida de suelo. Este modesto porcentaje se explica por las moderadas pendientes, la intensa humanización de estas tierras, la eficacia de las prácticas agrícolas generalmente adoptadas (terrazas de cultivo, realización de surcos y caballones paralelos a las curvas de nivel, diferentes rotaciones de cultivos, racionalización en el uso de la maquinaria agrícola...) y sobre todo la desactivación parcial del aparato torrencial mediante toda una red de boqueras conectadas al cauce de las ramblas.

La valoración de la erosión hídrica se ha efectuado cualitativa y cuantitativamente. La información cualitativa se asienta sobre la base de las observaciones de campo y el estudio de fotogramas aéreos, elementos que han permitido diferenciar en el presente estudio áreas de mayor importancia erosiva y áreas de estabilidad donde este tipo de erosión no tiene particular incidencia o incluso es prácticamente nula. La valoración cuantitativa ha sido basada en modelos empíricos (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y Modelo GAMES) y determinaciones experimentales.

1. ESTIMACION EMPÍRICA DE LA EROSIÓN HÍDRICA ANUAL DEL CAMPO DE CARTAGENA

La cuantificación de los procesos de erosión requiere una evaluación de los factores inherentes a las fases de destrucción del suelo. Tales procesos aparecen frecuentemente expresados por la relación entre la intensidad de la erosión o volumen de pérdida de suelo y la influencia de los agentes de erosión.

MUSGRAVE (1974) desarrolla a este respecto un modelo basado en la ecuación:

$$A = K \cdot C \cdot I^{1,35} \cdot L^{0,35} \cdot i_{30}^{1,75}$$

donde A es la pérdida de suelo en un año; K, el factor de erosionabilidad del suelo; C, el factor de cobertura vegetal; I, el gradiente de la pendiente; L, el factor de longitud de la pendiente e i_{30} , la precipitación caída en 30 minutos.

En base al estudio de los factores de erosión y sus interacciones HOLY (1978) propone la ecuación:

$$A = (a \cdot X_H \cdot S \cdot L)$$

siendo X_H , el factor hidrológico; S, el factor gradiente de la pendiente; L, el factor longitudinal del declive y a, el coeficiente del efecto de otros factores que intervienen en los procesos erosivos y no están incluidos en X_H (vegetación, textura del suelo...).

Pero es el modelo empírico de erosión de WISCHMEIER y SMITH (1958) el que interacciona mayor número de parámetros evaluables, y también el más empleado en los últimos años. Dentro del Campo de Cartagena ha sido aplicado ya a Torre Pacheco (CONESA, 1984) y de nuevo se escoge ahora para calcular la erosionabilidad media de la comarca. La fórmula general, determinada empíricamente, se conoce como Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y tiene por expresión:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A es la pérdida de suelo estimada en Tm/Ha/año; R, es un índice de erosión pluvial cuyo valor medio en el Campo de Cartagena está en torno a 139 (correspondiente al clima mediterráneo semiárido); K, es la variable de erosionabilidad del suelo que, en este área, oscila entre 0,2 para suelos de estructura más compacta y 0,8 para los suelos o rocas más sueltos y transportables (fig. 5); L, es el factor de longitud de la pendiente y su valor, combinado con S, varía entre 0,1, para declives muy suaves, inferiores al 2 por ciento, y 10, para declives superiores al 70 por ciento; S, es el factor pendiente, estrechamente relacionado con la longitud de la misma. Los autores de la ecuación recomiendan que los factores L y S se empleen en combinación (fig. 6), aplicando la fórmula:

$$LS = \frac{L_p}{100} (1,36 + 0,97 I + 0,1385 I^2)$$

siendo L, la longitud media del declive en metros, y p, un exponente cuyo valor oscila entre 0,3 y 0,6; para gradientes de pendiente $I \leq 10$ por ciento el exponente se considera normalmente como $p = 0,5$ y para gradientes $I > 10$ por ciento, $p = 0,6$. C es la variable cultivo y ordenación con valores que varían entre 0,01 para sectores poblados por vegetación arbórea, 0,1 para áreas de matorral y erial y 0,3 para las superficies agrícolas sin protección especial. P es el factor práctico de conservación de suelos y oscila entre 0,12 para las áreas más estables y 0,18 para las más inestables.

Y tomando valores medios aproximados para el conjunto de las tierras de la comarca podría obtenerse el valor A medio del Campo de Cartagena.

Como toda la extensión del Campo (100 por cien) puede considerarse semiárida (precipitación entre 290 y 350 mm, evapotranspiración potencial superior a 840 mm y flora termófila y xerófila) el valor R medio adoptado para el territorio en estudio se situó en torno a 140:

$$R_m = 100 \cdot 140/100 = 140$$

El valor medio comarcal del factor K (erosionalidad) se calcula en función de la naturaleza de sus materiales, cuyas áreas de dominio han sido medidas a través del Mapa Geológico de España E: 1/50.000, la figura 5 y las clasificaciones de suelos del Campo de Cartagena de ALIAS y ORTIZ (1977 y 1978). Se distinguen, pues, suelos muy sueltos que ocupan el 68 por ciento del suelo comarcal, suelos intermedios (entre el grado de compactación máxima y los muy sueltos) (21 por ciento) y suelos compactos que cubren la superficie restante (11 por ciento). Hay que añadir, sin embargo, que el 4,1 por ciento de las tierras de

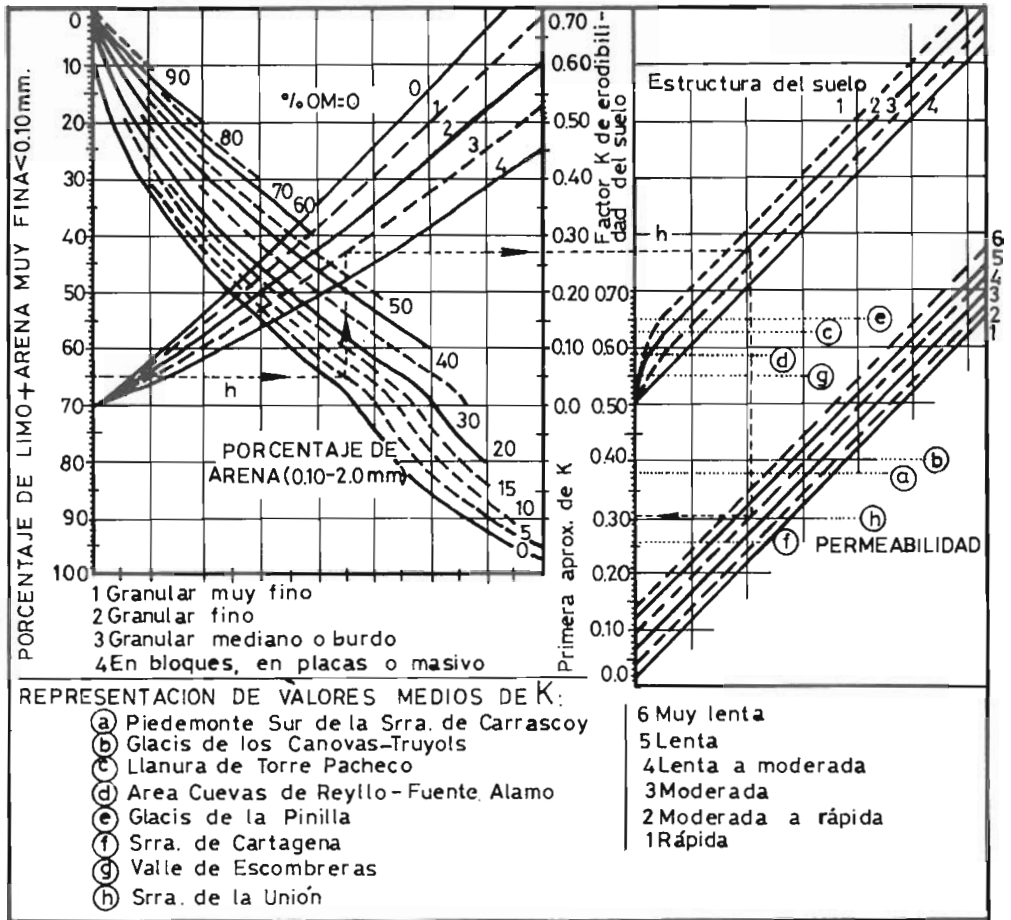


Fig. 5.- Monograma para la determinación del factor K, con representación de valores medios aproximados para las principales unidades de relieve del Campo de Cartagena

la comarca, en el primer caso, y el 0,4 por ciento, en el segundo, se hallan protegidos por asentamientos habitacionales y obras de infraestructura; por lo que el K medio será:

$$km = (63,9 \cdot 0,5 + 20,6 \cdot (0,4 + 0,2/2) + (11 \cdot 0,2))/100 = 0,403$$

Respecto al factor LS, el capítulo anterior proporciona una detallada descripción cuantitativa de la orografía comarcal. Si se considera la extensión de las tierras llanas, éstas representan el 32,9 por ciento de su superficie, mientras que los terrenos semiplaniciados ($2 < I < 10\%$) constituyen el 45,6 por ciento, los de pendiente moderada ($10 < I < 20\%$) el 7,7 por ciento, los de fuerte pendiente el 4,7 por ciento, y finalmente los de pendiente acusada el 9,1 por ciento (véase el cuadro 2 del citado capítulo). Luego el valor medio del producto LS = $(32,9 \cdot 0,1 + 45,6 \cdot 0,4 + 7,7 \cdot 0,8 + 4,7 \cdot 3 + 9,1 \cdot 6)/100 = 0,967$.

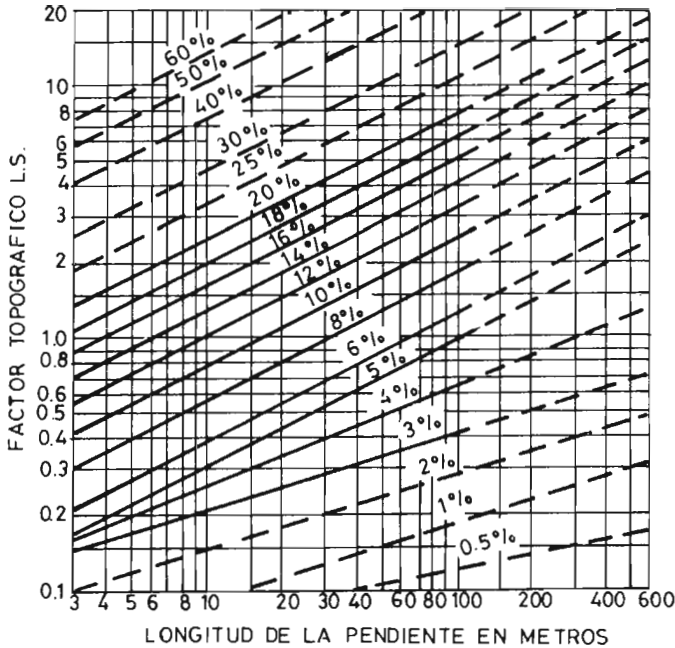


Fig. 6.- Monograma para la estimación del factor LS (A.R.S., 1975)

Por su parte, la superficie arbórea forestal de la comarca puede considerarse en torno al 2,2 por ciento. El 15,7 por ciento corresponde a erial, monte bajo y tierras de barbecho. El 67 por ciento es de tierras cultivadas. El 15,1 por ciento restante se distribuye entre suelos desprotegidos (vertientes con vegetación muy escasa o nula, canteras, "vacies" de minerales estériles, suelos salinos...) (11,5 por ciento); y suelo urbano, industrial e infraestructura de regadío (3,6 por ciento). Por tanto, el valor medio comarcal del factor C será:

$$2,2 \cdot 0,01 + 15,7 \cdot 0,35 + 67 \cdot 0,6 + 11,5 \cdot 0,8/100 = 0,55$$

Finalmente, como del análisis paisajístico se deduce que en el aspecto erosivo, la mayor parte de la comarca es más o menos estable, dado el carácter moderado de las pendientes y, de acuerdo con los resultados indicados, el 54,5 por ciento es poco erosionable, puede considerarse que la superficie mencionada tendrá un valor P mínimo, y por tanto igual a 0,14, mientras que el 29,9 por ciento de la superficie se califica como semiestable (0,15) y el 15,6 por ciento restante como inestable, con un valor de 0,18. Por consiguiente, el valor medio comarcal de la variable P será:

$$P_m = (54,5 \cdot 0,14 + 29,9 \cdot 0,15 + 15,6 \cdot 0,18)/100 = 0,149$$

Con lo que el cálculo de A medio del Campo de Cartagena será igual a $140 \cdot 0,403 \cdot 0,967 \cdot 0,55 \cdot 0,149 = 4,47 \text{ Tm/Ha/año}$ o lo que es lo mismo $447 \text{ Tm/Km}^2/\text{año}$.

Un mayor interés tiene, dada la finalidad del presente estudio, el conocer las diferencias

de intensidad de erosión entre los sectores de llanura, las sierras costeras y la vertiente meridional de la Sierra de Carrascoy. Para el primer caso pueden apuntarse valores inferiores a 0,8 Tm/Ha/año, cantidad estimada como promedio para las tierras de Torre Pacheco (CONESA, 1984). Para la Sierra de Carrascoy la pérdida media de suelo se calcula en torno a 46 Tm/Ha/año y para las Sierras de Cartagena y La Unión, en 41 Tm/Ha/año. Si se tiene en cuenta que el volumen y elevación de la Sierra de Carrascoy es considerablemente superior al de los relieves costeros, no cabe duda de que éstos se hallan comparativamente más desprotegidos frente a los procesos erosivos, sobre todo como consecuencia de causas antropogénicas (explotación de áridos, terreras, canteras...).

Estos resultados podrán compararse con el valor medio anual de la erosión potencial obtenido mediante la aplicación de ecuaciones de correlación de FOURNIER (1960). Según este autor existe una correlación entre la degradación específica de una cuenca y los valores del factor p^2/P que está relacionado con el coeficiente orográfico (ya calculado en el capítulo del relieve, apart. 1.2.), en razón de 4 rectas de regresión que él mismo determinó y que para relieves poco acentuados y clima semiárido, como es el caso del Campo de Cartagena, tiene el valor de:

- A (recta representada) $Y = 6,14 X - 49,78$, para relieves poco acentuados y valores $p^2/P < 20$.

- B (recta representada) $Y = 27,12 X - 475,4$ para relieves poco acentuados y valores $p^2/P > 20$.

Las otras dos rectas (C) y (D) se refieren a orografías muy accidentadas, con clima húmedo (C) o semiárido (D) y por tanto no cabe su aplicación a nivel comarcal.

En la expresión de la fórmula, $X = p^2/P$; Y = la degradación específica en Tm/Km²/año; P, la altura de las precipitaciones anuales medidas en mm y p, la precipitación del mes de máxima pluviosidad (que incluye el factor vegetativo, ya que éste está relacionado con la intensidad y abundancia de las precipitaciones).

Como el factor de agresividad erosiva p^2/P es función de las precipitaciones y la importancia de éstas a nivel del territorio de análisis es un valor discontinuo, a pesar de su pequeña escala, se ha determinado dicho índice para tres estaciones representativas (San Javier, Pozo Estrecho y Fuente Alamo) y para cada uno de los años del período 1960-1986. Véase el cuadro 3, en el que además se incluye el nombre de la estación, la altitud de la misma, el mes en que se detectó el máximo valor de precipitaciones (p) y el año considerado (al cual se refiere el valor P), el tipo de relieve, la recta de regresión que corresponde entre las señaladas anteriormente y el cálculo de la erosión del área de la estación. Seguidamente se calcula el valor medio de la erosión potencial en cada estación y mediante extrapolación se determina la erosionabilidad media potencial del Campo de Cartagena.

Cuadro 3
*Características orográficas y erosión potencial del área, según FOURNIER
(período de análisis: 1961-1986)*

ESTACION: SAN JAVIER. Altitud en m = 3 Tipo relieve = poco acentuado

Año	Mes de mayor pluviometría	Valor p^2/P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1961	Octubre	18,59	A	64,4
1962	Octubre	22,46	B	133,7

Año	Mes de mayor pluviometría	Valor p ² /P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1963	Diciembre	50,78	B	902,0
1964	Diciembre	65,16	B	1.291,0
1965	Octubre	91,25	B	1.999,0
1966	Octubre	29,91	B	336,0
1967	Junio	26,23	B	236,0
1968	Enero	61,14	B	1.183,0
1969	Octubre	60,21	B	1.157,0
1970	Diciembre	24,52	B	189,5
1971	Diciembre	20,14	B	70,5
1972	Octubre	148,65	B	3.551,0
1973	Diciembre	58,25	B	1.097,0
1974	Octubre	92,78	B	2.040,0
1975	Abril	21,06	B	96,5
1976	Diciembre	36,70	B	518,0
1977	Mayo	16,45	A	51,0
1978	Noviembre	21,27	B	101,0
1979	Octubre	13,26	A	31,7
1980	Enero	32,52	B	407,0
1981	Junio	12,30	A	25,7
1982	Enero	18,70	A	65,0
1983	Noviembre	34,53	B	461,0
1984	Abril	12,11	A	24,5
1985	Febrero	20,32	B	75,6
1986	Octubre	84,25	B	1.809,4

Erosión media potencial.689,0

ESTACION: POZO ESTRECHO. Altitud en m = 50 Tipo relieve = poco acentuado

Año	Mes de mayor pluviometría	Valor p ² /P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1961	Octubre	8,88	A	4,7
1962	Octubre	8,40	A	1,8
1963	Diciembre	60,60	B	1.168,0
1964	Diciembre	38,18	B	560,0
1965	Octubre	32,51	B	406,0
1966	Octubre	53,08	B	964,0
1967	Septiembre	30,02	B	338,7
1968	Mayo	22,50	B	134,8
1969	Octubre	113,56	B	2.064,7
1970	Diciembre	16,49	A	51,5

Año	Mes de mayor pluviometría	Valor p ² /P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1971	Diciembre	17,96	A	60,5
1972	Octubre	109,58	B	2.496,4
1973	Diciembre	26,61	B	246,3
1974	Octubre	28,91	B	308,6
1975	Abril	23,00	B	148,4
1976	Mayo	49,51	B	867,3
1977	Mayo	17,68	A	58,5
1978	Abril	9,11	A	6,2
1979	Octubre	11,00	A	18,3
1980	Enero	35,13	B	477,7
1981	Junio	19,60	A	70,5
1982	Octubre	35,76	B	494,4
1983	Noviembre	40,80	B	631,1
1984	Abril	9,32	A	7,4
1985	Febrero	56,83	B	1.065,8
1986	Septiembre	88,86	B	1.934,5

Erosión media potencial.581,7

ESTACION: FUENTE ÁLAMO. Altitud en m = 146 Tipo relieve = poco acentuado

Año	Mes de Mayor pluviometría	Valor p ² /P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1961	Octubre	14,24	A	37,6
1962	Marzo	25,23	B	208,8
1963	Septiembre	23,18	B	153,2
1964	Diciembre	34,19	B	451,8
1965	Octubre	26,86	B	253,0
1966	Octubre	45,71	B	764,2
1967	Noviembre	28,11	B	286,9
1968	Mayo	14,45	A	38,9
1969	Octubre	101,63	B	2.280,8
1970	Diciembre	24,10	B	178,2
1971	Diciembre	14,48	A	39,1
1972	Octubre	107,32	B	2.435,1
1973	Diciembre	24,27	B	182,8
1974	Octubre	62,67	B	1.359,8
1975	Abril	24,57	B	191,0
1976	Mayo	30,33	B	347,1
1977	Mayo	27,26	B	263,9
1978	Abril	11,27	A	19,4
1979	Octubre	15,48	A	45,3
1980	Febrero	33,44	B	431,5

Año	Mes de mayor pluviometría	Valor p ² /P	Recta de regresión	Erosión potencial en Tm/Km ² /año
1981	Junio	24,54	B	190,1
1982	Octubre	47,79	B	820,8
1983	Noviembre	42,12	B	667,1
1984	Marzo	10,20	A	12,8
1985	Febrero	22,00	B	121,4
1986	Octubre	88,86	B	1.934,5

Erosión media potencial527,5

Erosión media extrapolable al Campo.599,4 Tm/Km²/año.

El valor de erosión media potencial, 599,4 Tm/Km²/año, está en cierta discordancia con las 447 Tm/Km²/año, calculadas por la Ecuación Universal; la diferencia se debe principalmente a que las ecuaciones de correlación de FOURNIER omiten los factores cultivo, ordenación y protección del suelo, tan importantes en la comarca.

Con el fin de valorar la importancia del fenómeno erosivo en este área, se correlacionan a continuación dichos datos con una escala conocida a nivel mundial (cuadro 4).

Cuadro 4

Clases de pérdidas de suelo por erosión hídrica establecidas por FAO/PNUMA/UNESCO (1980) (A) e ICONA (1982) (B).

Nivel	Pérdida de suelo (Tm/Km ² /año)	Nivel	Pérdida de suelo (Tm/Km ² /año)
	(A)		(B)
Ligera	< 1.000	Ninguna o ligera	<1.000
Moderada	1.000 - 5.000	Baja	1.000 - 2.500
Alta	5.000 - 20.000	Moderada	2.500 - 5.000
Muy alta	> 20.000	Acusada	5.000 - 10.000
		Alta	10.000 - 20.000
		Muy alta	> 20.000

De la comparación se deduce que la erosionabilidad media del Campo de Cartagena puede considerarse como "Ligera", situándose en la actualidad por debajo de las 600 Tm/Km²/año. Sin embargo este promedio enmascara pérdidas importantes: de hecho la acción agresiva de las lluvias torrenciales, características del área, no reviste la misma importancia de un año para otro, en consecuencia el factor de "agresividad" p²/P presenta valores muy distintos incluso en períodos cortos de observación. Tomando como ejemplo la estación de San Javier, pronto se observa, siguiendo el cuadro 3, que existe una gran variabilidad interanual de volumen de pérdidas: a años que tienen valores muy bajos de p²/P y una erosión superior a 100 suceden otros con una erosión potencial fuerte que rebasa las 3.000 Tm/Km²/año.

2. EROSIÓN DEL SUELO Y SEDIMENTACIÓN FLUVIAL EN CUENCAS DE DRENAJE ESPORÁDICO. VALORACIÓN CUANTITATIVA

2.1. Descripción del modelo "GAMES"

La resultante de erosión de GAMES se basa en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (WISCHMEIER y SMITH, 1978), modificada para estimar la erosión producida durante una determinada estación del año.

$$A_s = R_s \cdot K_s \cdot LS \cdot C_s \cdot P_s$$

donde

A_s = Pérdida de suelo calculada por unidad de área en la estación seleccionada.

R_s = Factor de erosión estacional.

K_s = Factor de erosionabilidad del suelo.

LS = Factor pendiente y longitud del declive.

C_s = Variable cultivo y ordenación estacional del suelo.

P_s = Factor práctico de conservación estacional del suelo.

El porcentaje de pérdida potencial de suelo liberado por el cauce principal se calcula con el GAMES mediante la expresión que define la razón de liberación siguiente:

$$DR_s = \alpha \left(\frac{1}{n_s} \cdot S^{1/2} \cdot HC_s \cdot \frac{1}{L_s} \right)^\beta$$

donde

DR_s = Razón de liberación estacional entre dos puntos seleccionados y $0 < DR < 1$; n_s = Rugosidad estacional de la superficie (según el índice de MANNING); HC_s = Coeficiente hidrológico estacional, índice de las cantidades de flujo superficial; S = Factor pendiente; L_s = Longitud de la corriente superficial en la estación escogida, en este estudio, longitud de la corriente principal en época de crecida; α, β = Parámetros de calibración.

En el caso de que el cauce del sector analizado discorra por terrenos relativamente inclinados antes de afluir al colector principal, la expresión sería:

$$DR_s = \alpha \left[\prod_{j=1}^m \left(n_{sj} \cdot \frac{1}{S_j^{1/2}} \cdot \frac{1}{HC_{sj}} \cdot L_{sj} \right) \right]^\beta$$

La estimación de los valores n_s de rugosidad superficial ha sido efectuada a través de los resultados obtenidos en relación con corrientes poco profundas (REE et al., 1977; KIMES et al., 1979), teniendo en cuenta las características geométricas del cauce de las ramblas estudiadas, la vegetación y la granulometría de sus depósitos de lecho (COWAN, 1956; GARDINER y DACKOMBE, 1983).

El rango normal de los valores n_s asignados a los sectores escogidos varía de 0,018 a 0,15; 0,018 para canales de tierra excavados en arcilla limosa, con depósitos de arena limpia en el centro y barro arenoso liso cerca de los lados (fig. 7), 0,020 para canales con lecho liso y césped y costados revestidos con mampostería (fig. 8), 0,030 para cauces limpios en planicie, 0,035 en tierras llanas cultivadas, 0,040-0,050 para tramos curvados con algunas



Fig. 7.- n_s medio = 0,018; n_s máximo = 0,022; Canal de tierra excavado en la Rambla del Albuñón, Pozo Estrecho

pozas y bancos (fig. 9), 0,070 para tramos sucios, con matorral en el lecho y márgenes "rugosos" (fig. 10), y 0,10-0,15 para tramos con gran cantidad de gravas y guijarros, lechos irregulares y abundancia de matorrales y arbustos bajos (figs. 11 y 12).

CLARK (1918) asigna a HCs valores de 1 y 0,05 para las áreas primarias y terciarias respectivamente. Las áreas secundarias pueden adoptar valores muy variados, comprendidos entre 0,06 y 0,99 según las condiciones anteriormente expuestas.

El factor LS se determina de igual manera que en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en tanto que α y β se obtienen mediante calibración del GAMES.

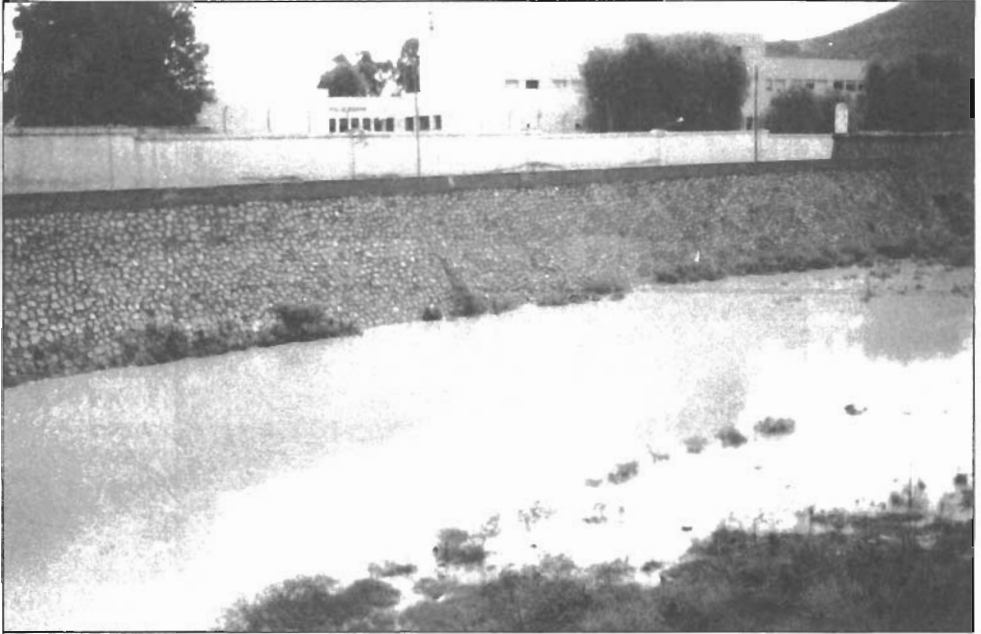


Fig. 8.- $n_s = 0,02$. Rambla de Benipila a su paso por Cartagena. Márgenes revestidos con mampostería



Fig. 9.- n_s medio = 0,04; n_s máximo = 0,05. Rambla de Fuente Alamo. Lecho irregular provisto de barras centrales y arbustos



Fig. 10.- $n_s = 0,07$. *Rambla de Peñas Blancas. Proximidades de Canteras.*
(*Cuenca de la Rambla de Benipila*)



Fig. 11.- $n_v = 0,10$. *Rambla de la Muela (Cuenca del Portús)*



Fig. 12.- $n_v = 0,15$. *Rambla de la Muela (Cuenca del Portús)*

2.2. Base de datos

El modelo se ha aplicado a cinco cuencas de drenaje, consideradas como representativas de las condiciones naturales y antrópicas de la comarca; Cuenca de la Rambla del Cabezo Gordo (1), que traduce una morfología llana a la vez que una intensa ocupación agrícola del suelo, Cuenca de la Rambla del Albuñón (2), sobre la que se instala una red dendrítica con tramos fuertemente modificados por el hombre, Cuenca de la Rambla de la Carrasquilla (4), con superficie dedicada en la misma proporción a usos agrícolas y formaciones naturales, Cuenca de la Rambla de Benipila (3) y Cuenca de la Rambla del Portús (5), tomadas como ejemplo de medios geomorfológicos frágiles en donde la intervención humana se ha dejado sentir notablemente sin llegar todavía hoy a una situación de control.

La obtención de los datos utilizados en la aplicación del GAMES a estas cuencas está basada en las siguientes fuentes:

1. Las pendientes son calculadas independientemente a partir de mapas de pendientes relativas (p. ej. figs. 13, 15 y 17). Las áreas restrictivas que oponen las pendientes frente a determinados usos del suelo (agrícolas y forestales) también aparecen especificados en las figs. 14, 16 y 18, referentes a la localización de "barreras topográficas" en las cuencas-tipo seleccionadas.

2. Las características morfométricas de las redes de drenaje se han definido a partir de su restitución mediante fotogramas de escala 1/33.000 y 1/18.000 (fig. 19).

3. Los tipos de suelo han sido establecidos según el Estudio Edafológico del Campo de Cartagena del I.N.I.A. (1973) y los trabajos de ALIAS y ORTIZ (1975-1978).

4. Los usos del suelo son determinados a partir de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos E: 1/50.000 del Ministerio de Agricultura, con información agraria correspondiente a 1977, los fotogramas aéreos E: 1/18.000 (I.R.Y.D.A., 1978), los Anuarios de Estadística Agraria Provincial de 1980-1985 y observaciones de campo.

A continuación, se combina cada uno de estos datos y se delimitan sectores específicos dentro de las cuencas, cada uno caracterizado por un singular uso y tipo de suelo y una categoría particular de pendientes.

Junto a los valores de estas variables se representan los valores del factor C_s de cultivo y ordenación asignado a cada sector en la estación de otoño, considerada como la de mayor potencial erosivo del área, al coincidir la etapa de mayor cuantía e intensidad pluviométrica con el estado comparativamente más desprotegido de las tierras agrícolas (terrenos arados, cultivos herbáceos...), con valores C_s entre 0,2 y 0,5. La estimación del factor K_s de erosionabilidad del suelo en otoño se ha determinado mediante la metodología propuesta por DICKINSON et al (1982) en su obra "Seasonal variations in soil erodibility".

Siguiendo los criterios de GHATE y WHITELEY (1982), el coeficiente hidrológico HC_s de cada cuenca ha sido identificado como primario, secundario o terciario, de acuerdo con los usos del suelo, condiciones de humedad de los suelos y factores hidrológicos. Como área primaria se define aquélla que tiene alta probabilidad de experimentar un flujo superficial capaz de librar partículas de suelo en la estación considerada, mientras que el área secundaria presenta poca probabilidad de registrar corrientes superficiales y la terciaria carece prácticamente de ellas.

2.3. Parámetros de calibración

Siguiendo la metodología de DICKINSON y RUDRA (1986), los valores de α y β han sido estimados mediante una "subrutina" de optimización, previa comparación de las cargas de sedimentos de las citadas cuencas, calculadas a través del GAMES, con las determinacio-

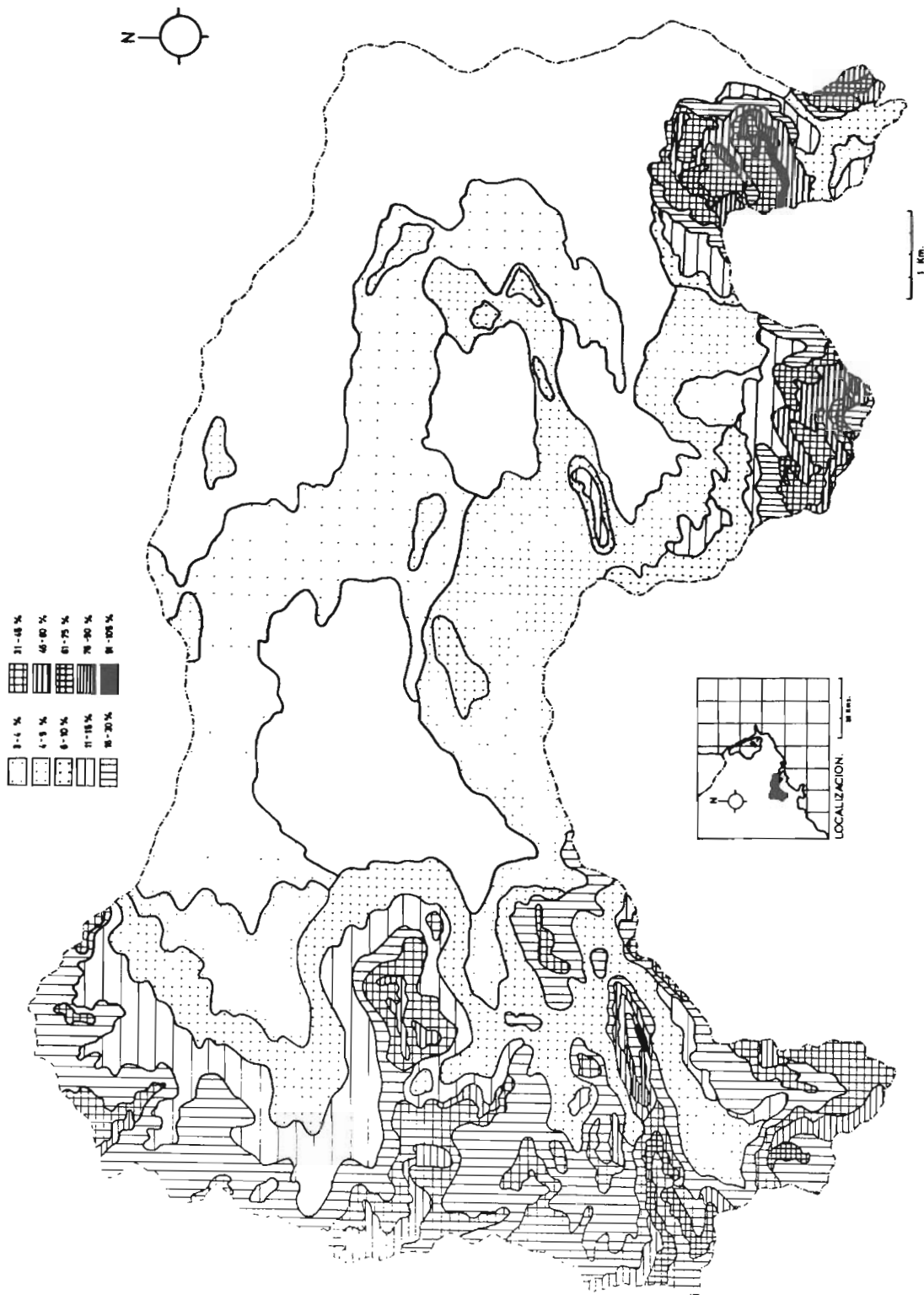


Fig. 13.- Distribucion relativa de las pendientes. Cuenca de la Rambla de Benipila

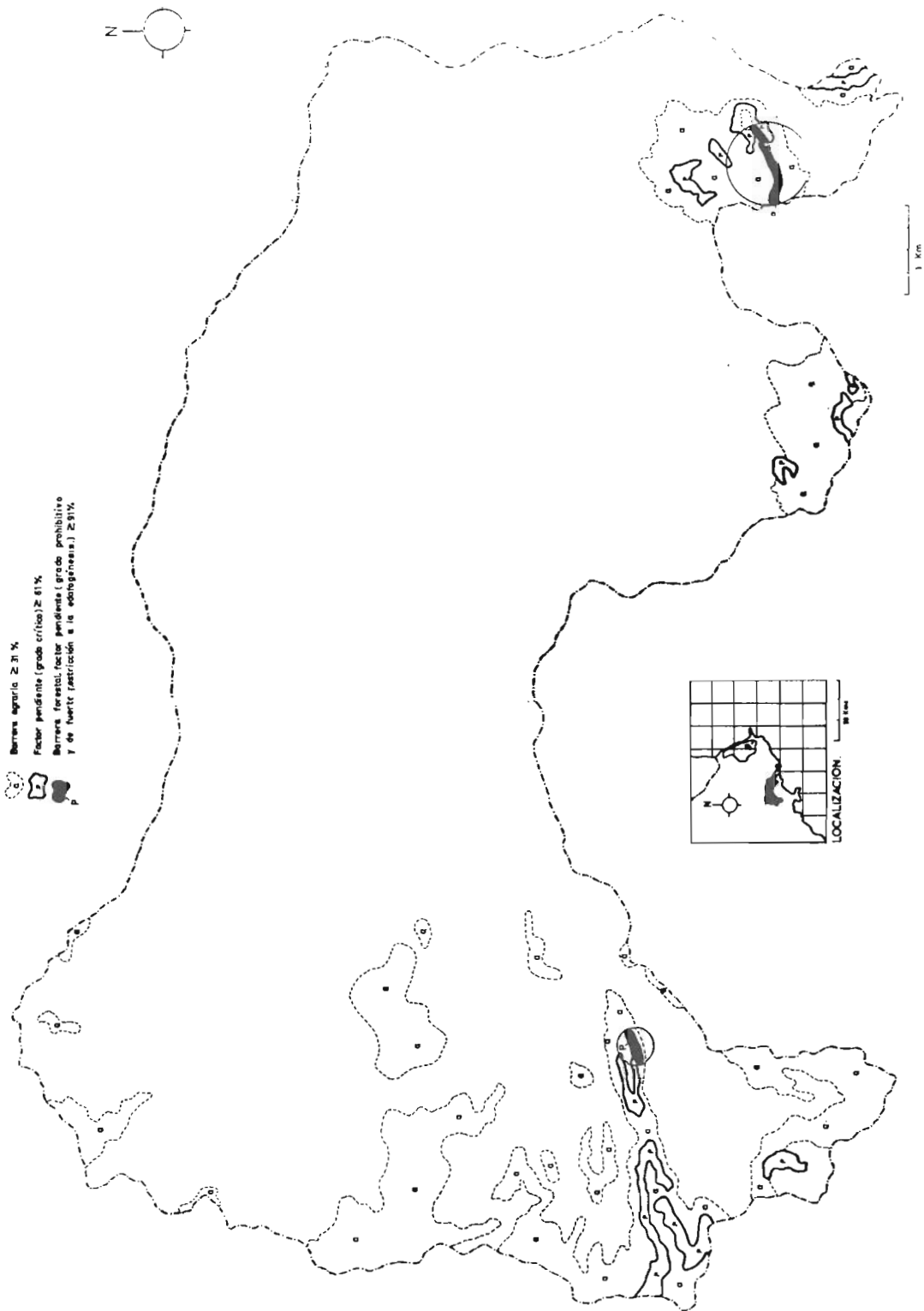


Fig. 14.- Disposición de barreras topográficas. Cuenca de la Rambla de Benipila

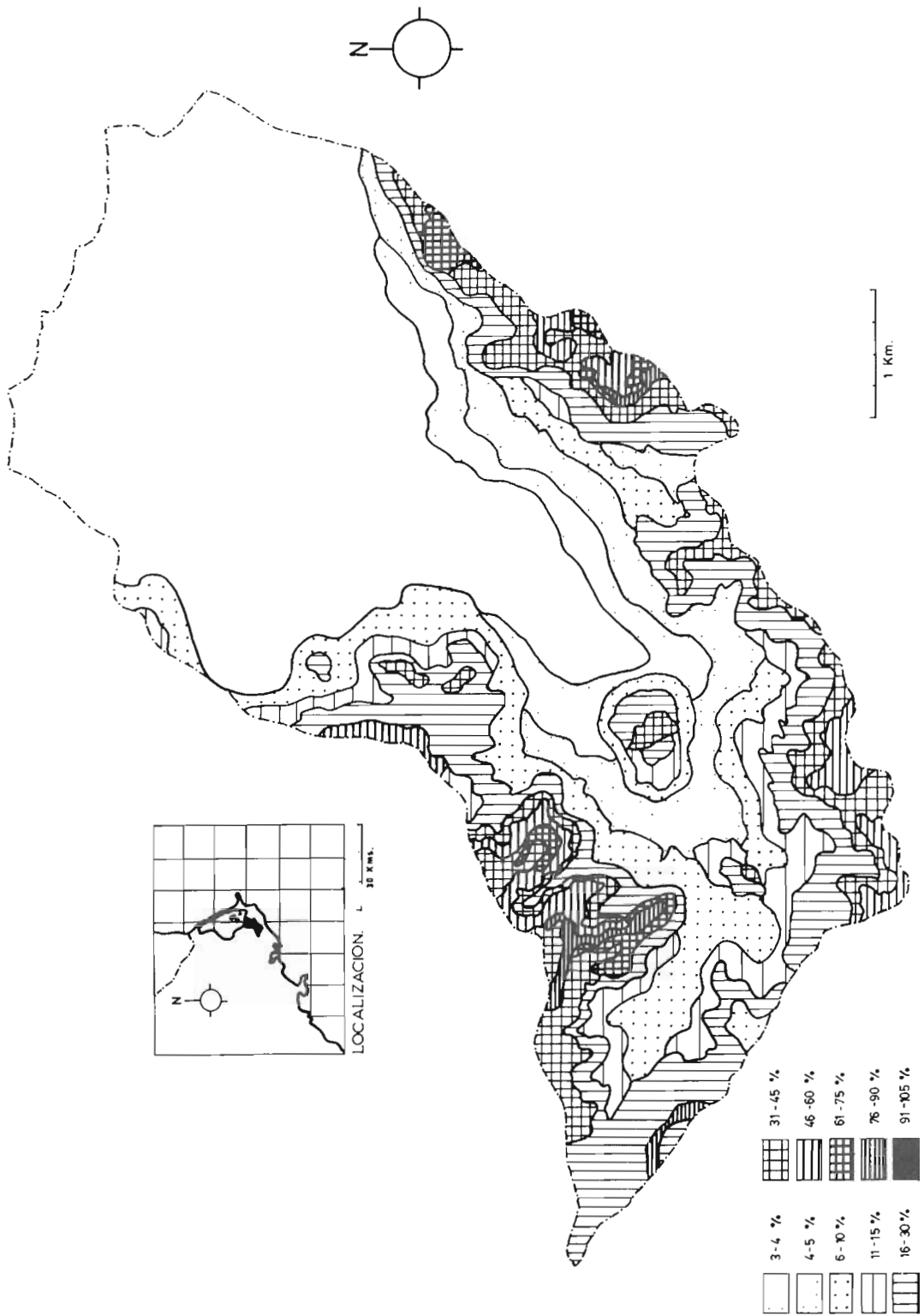


Fig. 15.- Distribución de pendientes relativas. Cuenca de la Rambla de la Carrasquilla

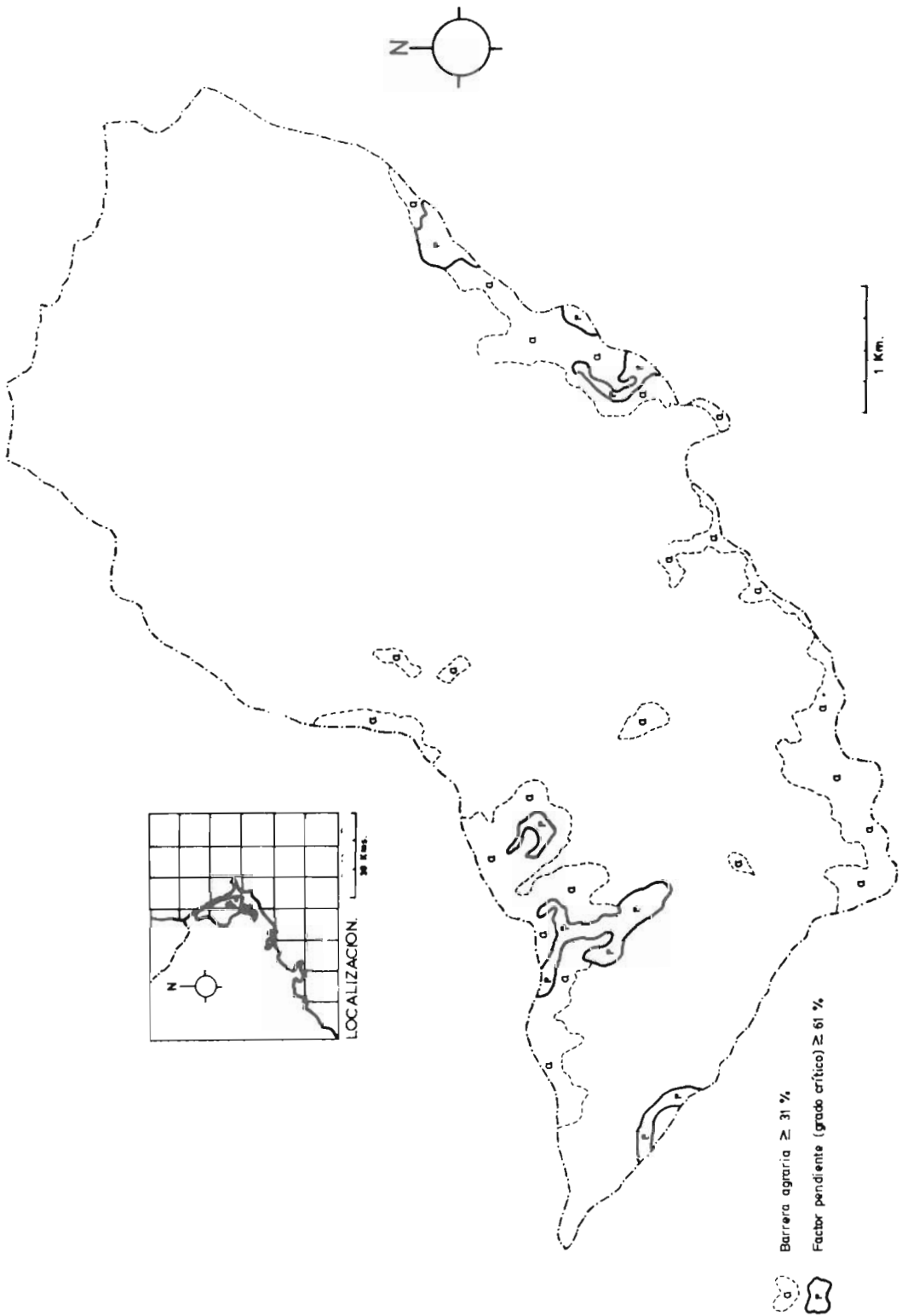


Fig. 16.- Disposición de barreras topográficas. Cuenca de la Rambla de la Carrasquilla

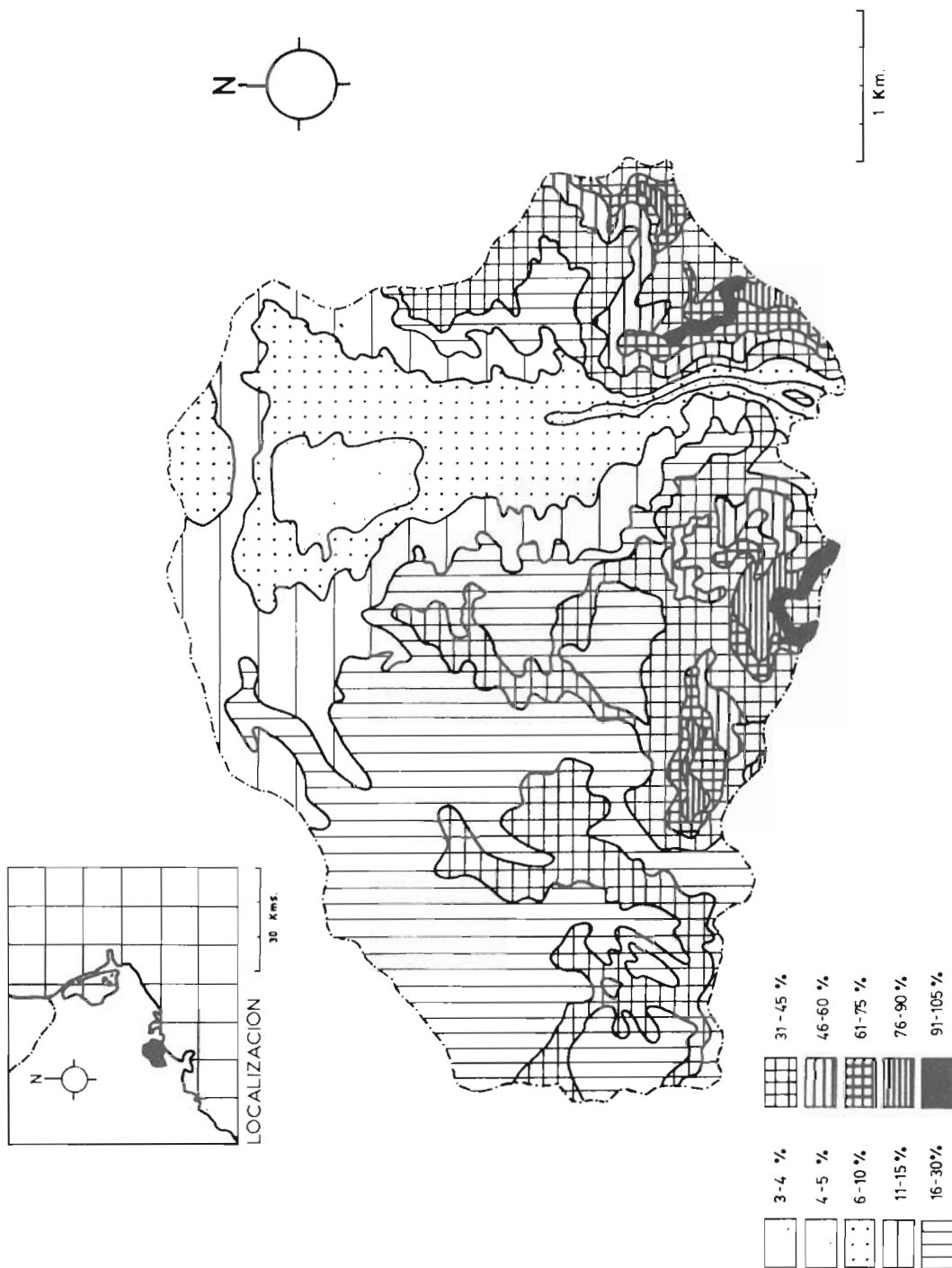


Fig. 17.- Distribución de pendientes relativas. Cuenca de la Rambla de Portús

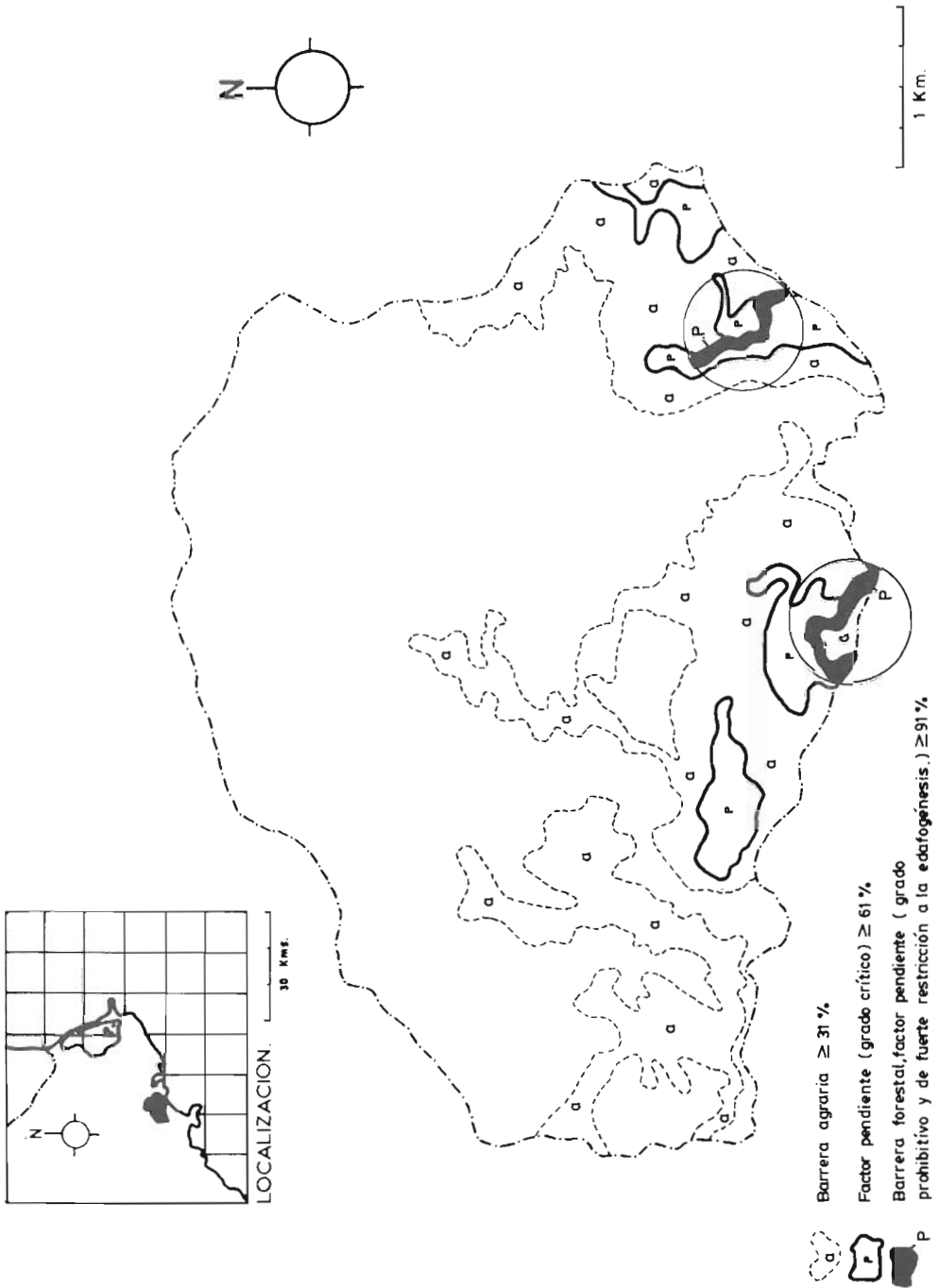
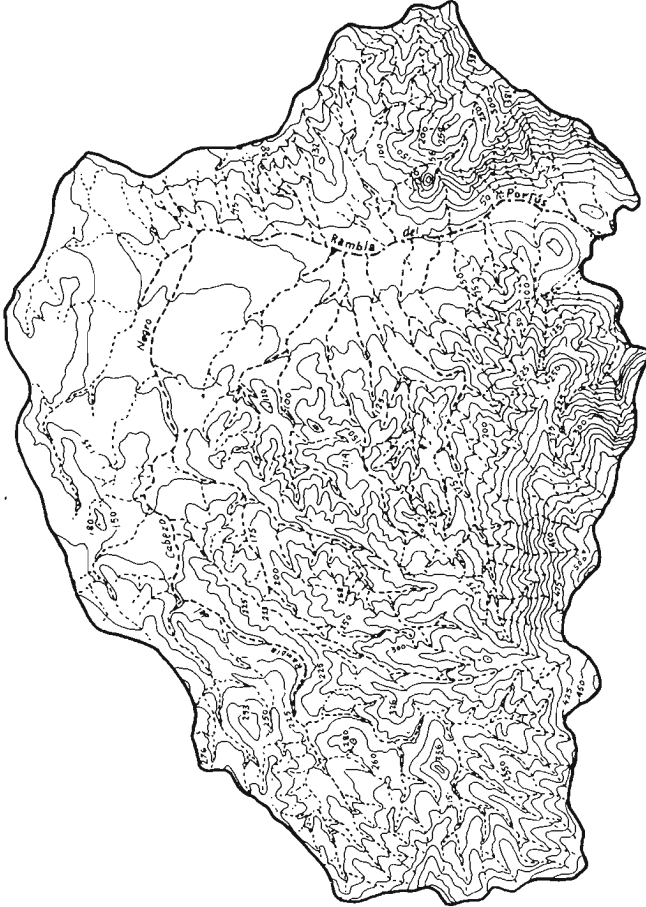


Fig. 18.- Disposición de barreras topográficas. Cuenca de la Rambla del Portús



Fig. 19.- Redes de drenaje de la Cuenca de la Carrasquilla (4) y Cuenca del Portús (5)



(5)

1 km

nes en los estudios del PLUARG ("Pollution from Land Use/Activities Reference Group") (COOTE et al., 1982). El análisis estadístico se halla basado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y en la Ecuación del Índice de Liberación de Sedimentos (cuadro 5), aplicándose en tres cuencas predominantemente agrícolas (1, 2 y 4) y en dos cuencas agrupadas como sectores geomorfológicamente frágiles, con vertientes desprovistas de cobertura vegetal y una agricultura de secano marginal basada en el aterrazamiento (3 y 5).

Cuadro 5
Valores medios de las variables que intervienen en el cálculo de las ecuaciones de DR_3 . Cuencas-tipo del Campo de Cartagena.

Cuenca	Localización	K _i	LS	C _i	S	P _i	n _i
1	Torre Pacheco	0,510	1,104	0,062	0,14	0,124	0,020
2	Cuenca Rambla del Albuñón	0,432	2,263	0,110	0,25	0,140	0,031
3	Cuenca Rambla de Benipila	0,410	4,455	0,220	0,91	0,170	0,074
4	Cuenca Rambla de la Carrasquilla	0,390	3,350	0,238	0,47	0,146	0,040
5	Cuenca Rambla del Portús	0,377	5,604	0,239	1,54	0,155	0,125

Los parámetros de calibración del Índice de Liberación de Sedimentos se expresan en el cuadro 6, junto a la estimación de las cargas de sedimentos en condiciones otoñales y la superficie de cada cuenca.

Cuadro 6
Cargas de sedimentos estimadas para la estación de otoño, correspondientes a los valores optimizados de los parámetros α y β .

Cuenca	Area (Km ²)	Carga de sedimentos estimada para otoño		α	β
		(T) (miles)	(T/Ha)		
1. Rambla del Cabezo Gordo	30,3	0,28	0,09	11,8	0,64
2. Rambla del Albuñón	441,3	16,33	0,37	14,2	0,44
3. Rambla de Benipila	72,5	7,03	0,97	12,0	0,50
4. Rambla de la Carrasquilla	28,5	2,00	0,70	11,0	0,67
5. Rambla del Portús	15,9	1,78	1,12	10,5	0,70

En las cuencas de la Rambla de Benipila (3) y Rambla del Portús (5) se han empleado medidas experimentales de cargas de sedimentos para la determinación de los valores óptimos de α y β . En el resto de las cuencas (1, 2 y 4) las cargas de sedimentos correspondientes han sido calculadas a través de ecuaciones de regresión que permiten ajustar sus condiciones con las cargas potenciales de producción de sedimentos, a partir de los resultados obtenidos en las cuencas 3 y 5 (WALL et al., 1982). En todos los casos, las cargas estimadas

por ecuación de regresión pueden asumirse como representativas de los valores de erosión fluvial en los años agrícolas analizados (1985-1986).

Por término medio, el 70-75 por ciento de los aportes materiales calculados son susceptibles de ser transportados en respuesta a las lluvias y escorrentías torrenciales de otoño. Se ha realizado, sin embargo, toda una serie de acondicionamientos para frenar la erosión y al mismo tiempo aprovechar agrícolamente la mayor superficie posible de tierras. Este hecho se constata de diferente forma en las cuencas estudiadas. En las cuencas de la Rambla del Cabezo Gordo (1) y Rambla del Albuñón (2) se han ensanchado cauces poco profundos, aplanándolos y convirtiéndolos en tierras de labor. En las cuencas 3 y 5 se ha optado por la implantación de todo un sistema de terrazas escalonadas y diques de contención de arrastres sólidos. En consecuencia, la reducción del volumen de aportes materiales generados en condiciones de fuertes aguaceros otoñales puede estimarse del 0 al 40 por ciento.

2.4. Valoración de los resultados

El método GAMES ha sido aplicado a cinco cuencas-tipo, con datos referidos a la estación de otoño de 1985 y 1986. La calibración del modelo bajo estas condiciones se realiza mediante los valores optimizados de α y β empleados para la predicción de corrientes y cargas de sedimentos (cuadro 6).

Este modelo, desarrollado por sectores que tienen, dentro de cada cuenca condiciones similares en otoño, incluye la erosión potencial del suelo por hectárea y kilómetro cuadrado, según sectores y categorías, el índice de liberación de sedimentos de cada sector y la producción de sedimentos por hectárea. En este sentido, las figuras 20 a 23 muestran tres ejemplos de mapas sobre la erosión potencial, índice de liberación y producción de sedimentos, correspondientes a las cuencas de las Ramblas del Cabezo Gordo (1), Benipila (3) y Carrasquilla (4), y el cuadro 7 ofrece un resumen de los valores de erosión y cargas de sedimentos en otoño para todas las cuencas-tipo. Un resumen adicional de la distribución por áreas de la erosión del suelo y producción de sedimentos se expone en los cuadros 8 y 9, estableciéndose hasta un total de cinco categorías para cada cuenca.

Del análisis de los mapas y cuadros resultantes se deducen algunas observaciones de particular interés:

Los promedios de pérdida de suelo por unidad de área, calculados para la estación de otoño, son muy bajos en algunas de las cuencas seleccionadas. La cuenca de la Rambla del Cabezo Gordo, considerada como representativa de las tierras llanas del Campo de Cartagena, dedicadas a cultivos de regadío y labores intensivas, representa en otoño uno de los índices de erosión más bajos de la comarca (0,60 T/Ha). La mayor variedad morfológica de la cuenca que drena la Rambla del Albuñón, inscrita también en gran parte dentro del área de dominio agrícola, contribuye a aumentar la erosión potencial hasta 2,10 T/Ha, cantidad todavía baja en comparación con la registrada en las cuencas meridionales. Sin embargo, dentro de esta cuenca, la erosión por unidad de área varía sensiblemente de unos sectores a otros, anotándose en ella la mayor variación espacial de las observadas en las cuencas-tipo (0-45 T/Ha).

Cuadro 7

Estimación de la erosión del suelo y cargas de sedimentos en suspensión para las avenidas de otoño en las cuencas seleccionadas

Cuenca	Area (Km ²)	Erosión potencial			Producción de sedimentos		
		total (T. miles)	media (T/Ha)	variación espacial (T/Ha)	total (T. miles)	media (T/Ha)	variación espacial (T/Ha)
1	30,3	2,82	0,6	0-21,0	0,28	0,09	0-1,0
2	441,3	92,67	2,1	0-45,0	16,33	0,37	0-4,3
3	72,5	68,87	9,5	0-36,2	7,03	0,97	0-2,9
4	28,5	17,95	6,3	0-30,0	2,00	0,70	0-1,8
5	15,9	17,31	10,9	0-32,1	1,78	1,12	0-3,8

Las cuencas costero-meridionales situadas al oeste de Cartagena (cuencas 3 y 4) presentan los valores medios de erosión potencial más altos del conjunto estudiado. No obstante, existen apreciables variaciones espaciales (0-36 T/Ha y 0-32 T/Ha, respectivamente) que ponen de relieve la presencia de áreas geomorfológicas muy contrastadas. Tal es el caso de la oposición, dentro de la cuenca de la Rambla del Portús de vertientes "estabilizadas" (flanco norte de La Muela) y terrenos escarpados con vegetación esteparia y abundancia de materiales sueltos (Cabezo de la Estrella y Puntal del Moco).

En las cuencas más protegidas por la vegetación con intercalación de pequeños sectores desnudos erosionables, la mayor parte de la erosión de otoño se produce en superficies muy reducidas, por ejemplo, el 74 por ciento de erosión potencial del suelo registrado durante los meses de otoño en la cuenca 1 (Torre Pacheco) corresponde sólo al 11 por ciento de la superficie de dicha cuenca, y el 79 por ciento de la erosión en la cuenca de la Rambla de la Carrasquilla se atribuye al 39 por ciento del área de la cuenca. En la cuenca de la Rambla del Albuñón, constituida por una amplia llanura bordeada al NW y al SW por elevaciones de relativa importancia, de 300 a 1.000 metros de altura, se observa también este hecho, aunque de forma menos acusada, ya que el 64 por ciento de la erosión tiene lugar en el 26 por ciento de la superficie vertiente (cuadro 8). La distribución espacial de la erosión en las cuencas costero-meridionales, dotadas de una mayor irregularidad topográfica, es mucho más uniforme, predominando los sectores de erosión moderada a acusada según la clasificación de ICONA (1982).

Cuadro 8

Erosión potencial de las cuencas seleccionadas por áreas y categorías del índice de erosión (condiciones de otoño)

Cuenca	Categoría del índice de erosión (*)	SUPERFICIE		EROSIÓN POTENCIAL	
		(%)	(Km ²)	(%)	(T. miles)
1	a	89,1	27,0	26,0	0,47
Rambla	b	2,0	0,6	5,5	0,11
del Cabezo	c	5,9	1,8	31,5	0,57
Gordo	d	3,0	0,9	37,0	0,67
	e	0,0	0,0	0,0	0,00

Categoría	Cuenca	SUPERFICIE del índice de erosión (*)	EROSIÓN POTENCIAL			
			(%)	(Km2)	(%)	(T, miles)
2	Rambla del Albuñón	a	42,4	187,1	7,9	7,32
		b	31,5	139,0	28,1	26,04
		c	19,0	83,9	36,0	33,36
		d	6,3	27,8	23,5	21,78
		e	0,8	3,5	4,5	4,17
3	Rambla de Benipila	a	31,6	22,9	6,8	4,68
		b	28,7	20,8	17,7	12,19
		c	19,1	13,8	23,1	15,91
		d	17,4	12,7	42,0	28,93
		e	3,2	2,3	10,4	7,16
4	Rambla de la Carrasquilla	a	42,1	12,0	7,2	1,29
		b	18,5	5,3	13,2	2,37
		c	22,0	6,3	30,2	5,42
		d	17,4	4,9	49,4	8,87
		e	0,0	0,0	0,0	0,00
5	Rambla del Portús	a	22,2	3,5	5,0	0,87
		b	29,3	4,7	17,2	2,98
		c	30,0	4,8	35,7	6,19
		d	18,5	2,9	42,1	7,29
		e	0,0	0,0	0,0	0,00

(*) a: 0-2,5 T/Ha
b: 2,5-5 T/Ha
c: 5-10 T/Ha
d: 10-30 T/Ha
e: >30 T/Ha

Clases de pérdidas de suelo por erosión hídrica establecidas para promedios anuales por ICONA (1982)

Nivel	Pérdidas de suelo (T/Ha/año)
Ninguna o ligera	< 10
Baja	10-25
Moderada	25-50
Acusada	50-100
Alta	100-200
Muy alta	> 200

La producción de sedimentos de las cuencas analizadas (0,09 a 1,12 T/Ha) no es muy grande. Apenas supone la tercera o cuarta parte de la erosión potencial, pero, al igual que ésta, varía notablemente dentro de cada cuenca, registrándose de nuevo las mayores diferencias en la cuenca de la Rambla del Albuñón (0-4,3 T/Ha).

Lo mismo que ocurre con la erosión potencial, la mayor parte de los materiales arrastrados por las crecidas otoñales en las cuencas 1 y 2 proceden de áreas que representan un pequeño porcentaje de la superficie vertiente (cuadro 9 y figura 20). Más del 64 por ciento de la carga de sedimentos de otoño en la cuenca de la Rambla del Cabezo Gordo es

Cuadro 9
*Producción de sedimentos de las cuencas seleccionadas por áreas y categorías
 (condiciones de otoño)*

Cuenca	Categoría del índice de erosión (*)	SUPERFICIE		PROD. SEDIMENTOS (**)	
		(%)	(Km2)	(%)	(T, miles)
1 Rambla del Cabezo Gordo	a	84,5	25,6	35,7	0,10
	b	11,9	3,6	32,1	0,09
	c	0,7	0,2	3,6	0,01
	d	1,6	0,5	14,3	0,04
	e	1,3	0,4	14,3	0,04
2 Rambla del Albuji3n	a	61,2	270,0	20,0	3,27
	b	29,5	130,2	46,3	7,56
	c	6,7	29,5	21,3	3,48
	d	2,3	10,1	10,0	1,63
	e	0,3	1,5	2,4	0,39
3 Rambla de Benipila	a	51,3	37,2	9,7	0,68
	b	33,1	24,0	26,1	1,83
	c	9,2	6,7	14,9	1,05
	d	5,7	4,1	12,0	0,84
	e	0,7	0,5	37,3	2,63
4 Rambla de la Carrasquilla	a	52,6	15,0	13,5	0,27
	b	36,1	10,3	41,9	0,84
	c	7,4	2,1	17,6	0,35
	d	1,8	0,5	10,8	0,22
	e	2,1	0,6	16,2	0,32
5 Rambla del Portús	a	28,3	4,0	3,0	0,05
	b	38,4	6,1	17,9	0,32
	c	25,1	4,0	32,8	0,58
	d	8,2	1,3	40,3	0,72
	e	0,0	0,5	6,0	0,11

(*) a: 0-2,25 T/Ha (Inapreciable)
 b: 0,25-0,5 T/Ha (Ligera)
 c: 0,5-1 T/Ha (Baja)
 d: 1-2 T/Ha (Moderada)
 e: >2 T/Ha (Acusada)

(**) Liberados por el cauce principal de cada cuenca o unidad hidrol3gica.

producida en un 15,1 por ciento del 1rea de la cuenca y aproximadamente el 87 por ciento de los sedimentos generados durante la misma estaci3n en la cuenca de la Rambla de la Carrasquilla proviene del 47 por ciento de su superficie. Esta proporcionalidad inversa entre 1rea y volumen de producci3n de sedimentos es tambi3n acusada en la cuenca de la Rambla del Albuji3n, pese a sus variados usos agr3colas del suelo y la presencia de relieves marginales

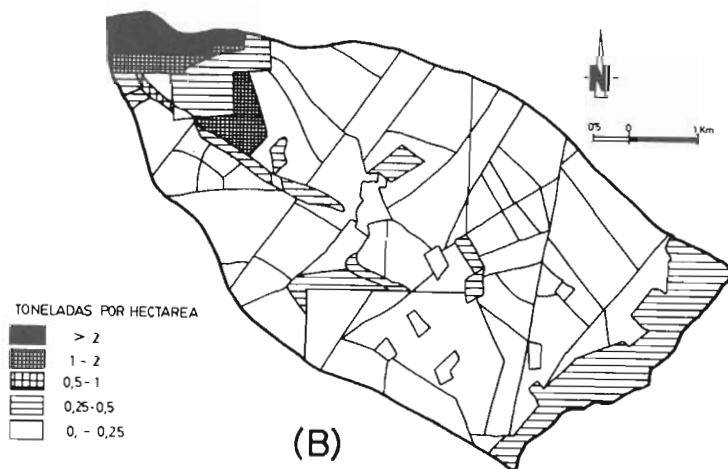
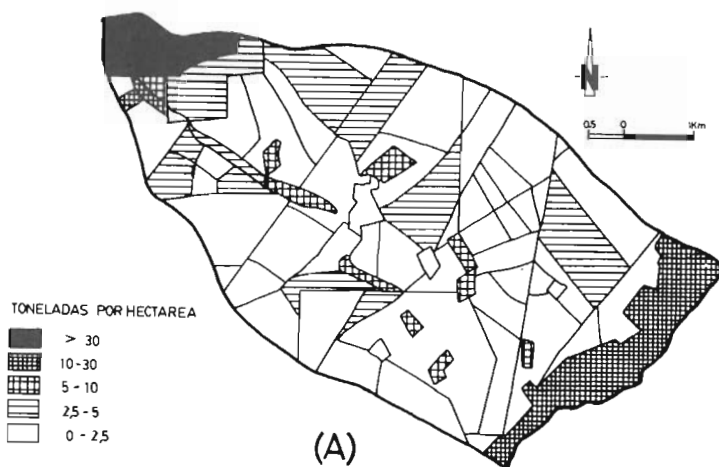
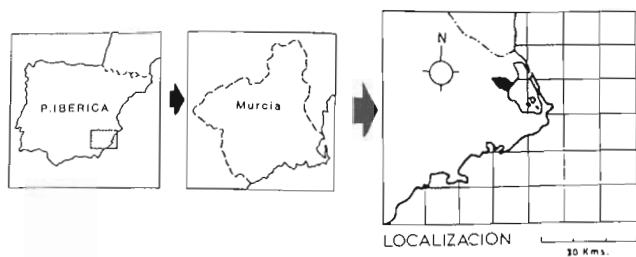


Fig. 20.- Distribución de la erosión del suelo (A) y producción de sedimentos (B) de la Cuenca de la Rambla del Cabezo Gordo. Otoño

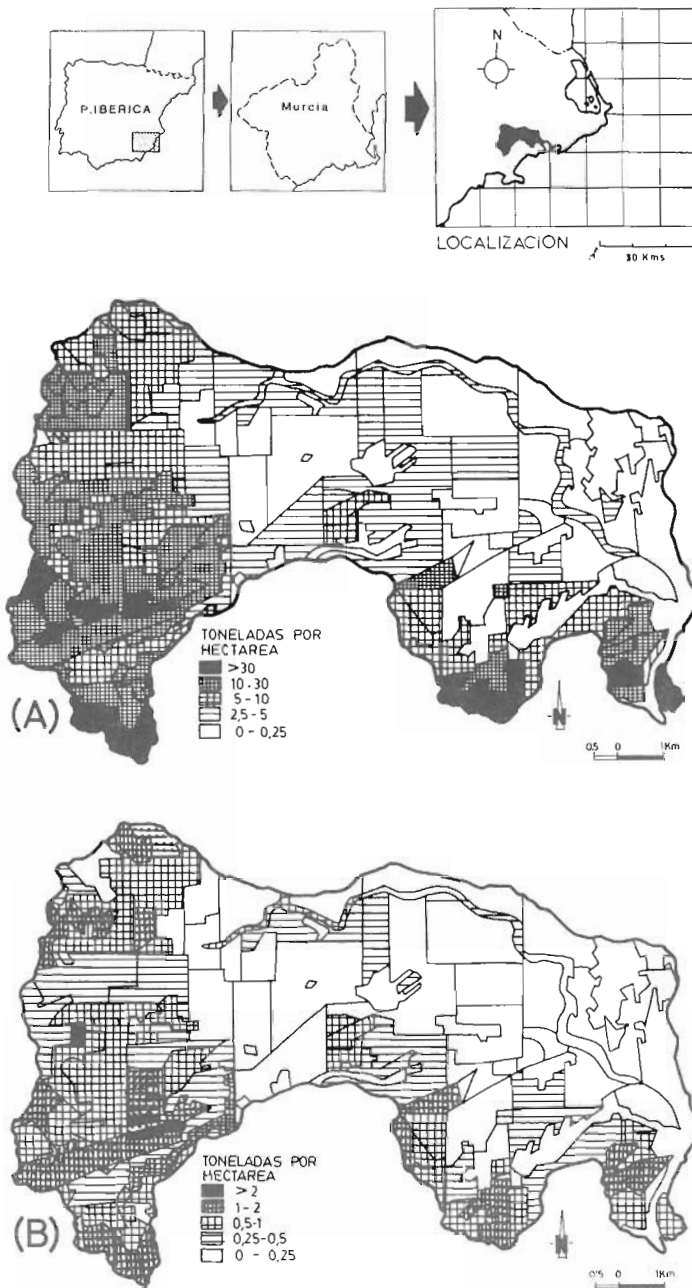


Fig. 21.- Distribución de la erosión del suelo (A) y producción de sedimentos (B) de la Cuenca de la Rambla de Benipila, Otoño

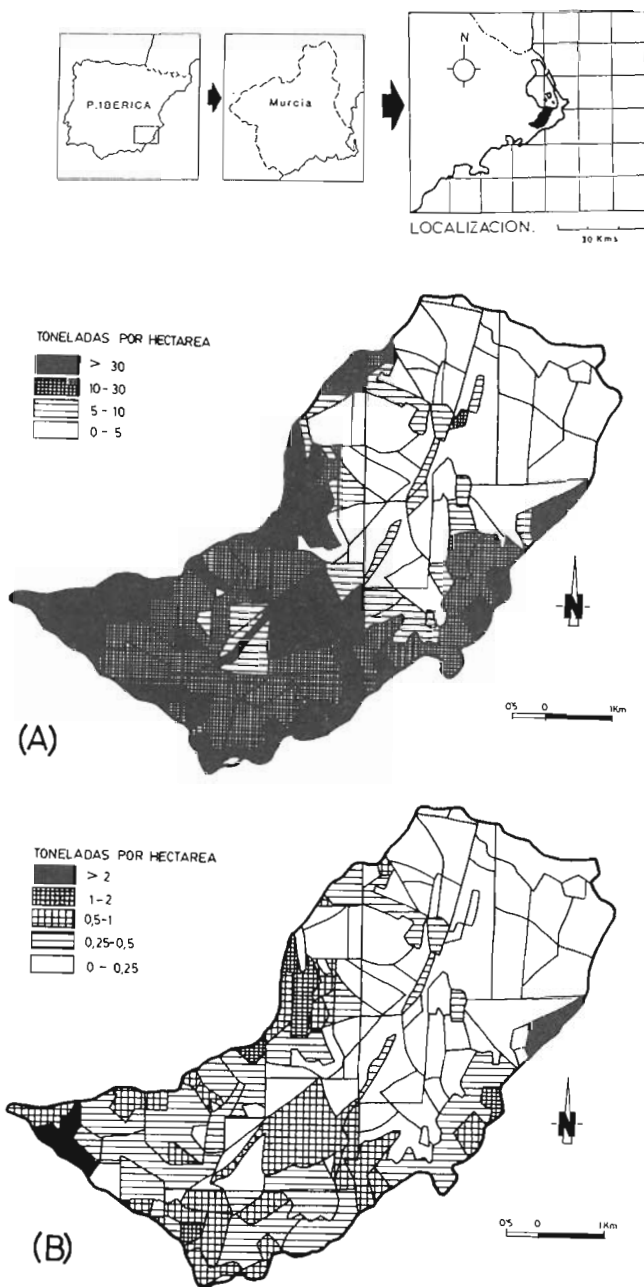


Fig. 22.- Distribución de la erosión del suelo (A) y producción de sedimentos (B) de la Cuenca de la Rambla de la Carrasquilla. Otoño

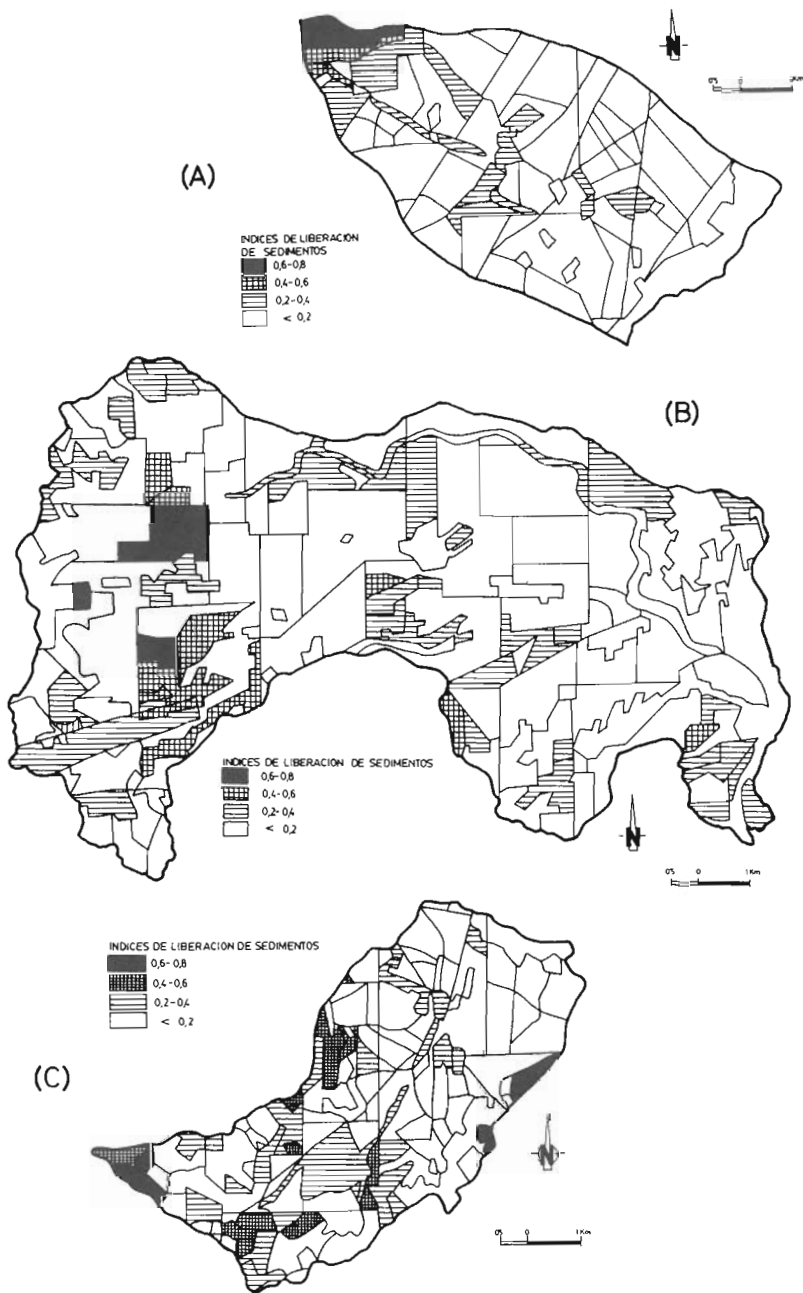


Fig. 23.- Variación espacial de los índices de liberación de sedimentos en las Cuencas de la Rambla del Cabezo Gordo (A), Rambla de Benipila (B), y Rambla de Carrasquilla (C)

más extensos, ya que en menos del 39 por ciento de sus tierras se produce el 80 por ciento de la carga total de sedimentos. La cuenca de la Rambla de Benipila puede incluirse dentro de este grupo, aunque ya presenta una mayor uniformidad espacial en la liberación y producción de sedimentos.

Sin duda, la cuenca que registra los índices de producción más homogéneos, además de elevados, es la perteneciente a la Rambla del Portús, en la que alrededor del 79 por ciento de los sedimentos generados procede del 33 por ciento de su superficie.

Las áreas de erosión representadas en las figuras 21 y 22 guardan estrecha relación con las áreas de pendientes relativas de las figuras 13 y 15. Así por ejemplo, en la cuenca de la Rambla de Benipila, los valores más altos de erosión potencial (30 T/Ha) coinciden, en gran medida, con los sectores más escarpados (Peñas Blancas y Cabezo de Roldán). Y en la cuenca de la Rambla de la Carrasquilla la mayoría de las tierras con pendientes inferiores al 2 por ciento no rebasan nunca 2,5 T/Ha.

Los sectores de litologías "blandas", con textura granular suelta y escasa o ninguna cubierta vegetal, presentan, aun en pendientes moderadas, índices muy elevados de erosión. Los casos más destacados son el tramo alto de la Rambla de Peñas Blancas (subcuenca de C.3), donde abundan las areniscas con algunas intercalaciones de yesos y arcillas, y la Cuesta de Galifa (cuenca 5), formada casi en su totalidad por arenas, margas y areniscas. En estos sectores, cuya pendiente media es inferior al 25 por ciento, se alcanzan en torno a 15-18 T/Ha en la estación de otoño.

Un detallado análisis de los mapas base indicados en el apartado 2.2., las figuras 13, 15 y 17 y observaciones de campo han demostrado que las tierras en barbecho, con pendientes muy suaves (< 1 por ciento), pueden incrementar hasta 3 el grado de erosión con respecto a las cultivadas, y que, en condiciones topográficas similares, cuando la pendiente es del orden de 5 a 10 por ciento, las tierras ocupadas por frutales de secano o barbecho sembrado multiplican por 10-15 la erosión potencial calculada para las áreas de erial y monte bajo.

Las tierras llanas y peniplaniadas del Campo de Cartagena proporcionan cantidades muy escasas de sedimentos a los cauces de las ramblas. Los porcentajes más altos de liberación y producción de sedimentos transportables a lo largo de estos colectores se dan en los terrenos en barbecho más escarpados, próximos a dichas arterias fluviales. Los relieves suavemente ondulados situados en el interior de algunas cuencas (sectores comprendidos entre El Escobar y La Murta, en la cuenca de la Rambla del Albuñón), con hileras de cultivo y surcos dispuestos en el sentido de la pendiente, pueden mostrar una importante erosión local pero sólo aportan una ínfima cantidad de sedimentos a la corriente.

2.5. Problemas de erosión del suelo y sedimentación fluvial

— *Identificación del problema*

De acuerdo con las modalidades de problema propuestas por DICKINSON et al. (1986), se ha adoptado una tipología conceptual de situaciones por áreas, dentro de las cuencas elegidas, en función del volumen de erosión potencial y de la aportación de sedimentos a los cauces de las ramblas. Esta tipología, resumida en el cuadro 10, se ha basado en la cuantificación, por separado, de los volúmenes potenciales de erosión del suelo y de las cargas de sedimentos susceptibles de ser evacuadas por corrientes torrenciales. Se ha considerado como problema de erosión la pérdida de suelo, puesto que lleva consigo disminuciones en la productividad agrícola, pérdida de tierra cultivada, daños en la infraestructura de regadío. Como problemas de sedimentación se han incluido, generalmente aguas abajo, la anegación de cosechas, el entarquinamiento de canales y acequias, entaponamiento de los alcantarilla-

dos urbanos, desperfectos en bienes industriales y sociales, daños en inmuebles por acometidas de barro...

En resumen, se han distinguido cuatro tipos de situaciones o problemas: Problema tipo I, asignado a las áreas con fuerte erosionabilidad que contribuyen, en una medida muy considerable, a la aportación de sedimentos fluviales; Problema tipo II, atribuible a áreas con elevado índice de erosión, pero en las que sólo una pequeña cantidad de material del suelo es transportada desde los sectores de origen. El Problema tipo III tiene lugar en áreas con índices relativamente bajos de pérdida de suelo, pero en ellas la mayor parte del suelo erosionado circula a través de las ramblas interiores hasta depositarse aguas abajo. Por último, las áreas que tienen índices muy bajos de erosión y sedimentación quedan agrupadas dentro de la categoría del Problema tipo IV.

— *Valoración cuantitativa del problema*

Los resultados obtenidos de la aplicación del GAMES, acerca de la erosión del suelo y categorías de los problemas de sedimentación de las cuencas tipo, se resumen en el cuadro 10 y figura 24.

Cuadro 10
Interpretación cuantitativa de los problemas de erosión del suelo y sedimentación en las cuencas seleccionadas

Tipo de problema (*)	Factor	Porcentaje comparativo por cuenca				
		1	2	3	4	5
I	Area	3,7	8,4	16,5	13,0	20,1
	Pérdida de suelo (**)	38,5	24,3	52,4	37,6	52,5
	Carga sedimentos (**)	32,2	33,7	54,4	40,0	53,0
II	Area	4,1	18,5	24,4	20,5	17,1
	Pérdida de suelo (**)	30,0	39,7	23,1	42,0	25,3
	Carga sedimentos (**)	58,6	60,2	25,8	40,0	33,6
III	Area	9,0	2,9	12,1	4,5	38,0
	Pérdida de suelo (**)	0,0	0,0	19,0	5,3	19,3
	Carga sedimentos (**)	0,0	0,0	9,8	5,6	5,2
IV	Area	83,2	70,2	47,0	62,0	24,8
	Pérdida de suelo (**)	31,5	36,0	5,5	14,7	2,9
	Carga sedimentos (**)	9,2	6,1	10,0	15,4	7,2

(*) Tipo de problema definido según metodología de DICKINSON et al. (1986).

(**) Porcentaje del total de pérdida de suelo y carga de sedimentos de cada cuenca respecto al área del problema asignado.

La cuenca 1 es la que menos problemas plantea. Alrededor del 83 por ciento del área de esta cuenca no presenta ningún tipo de problema. Únicamente el 3,7 por ciento, que aproxi-

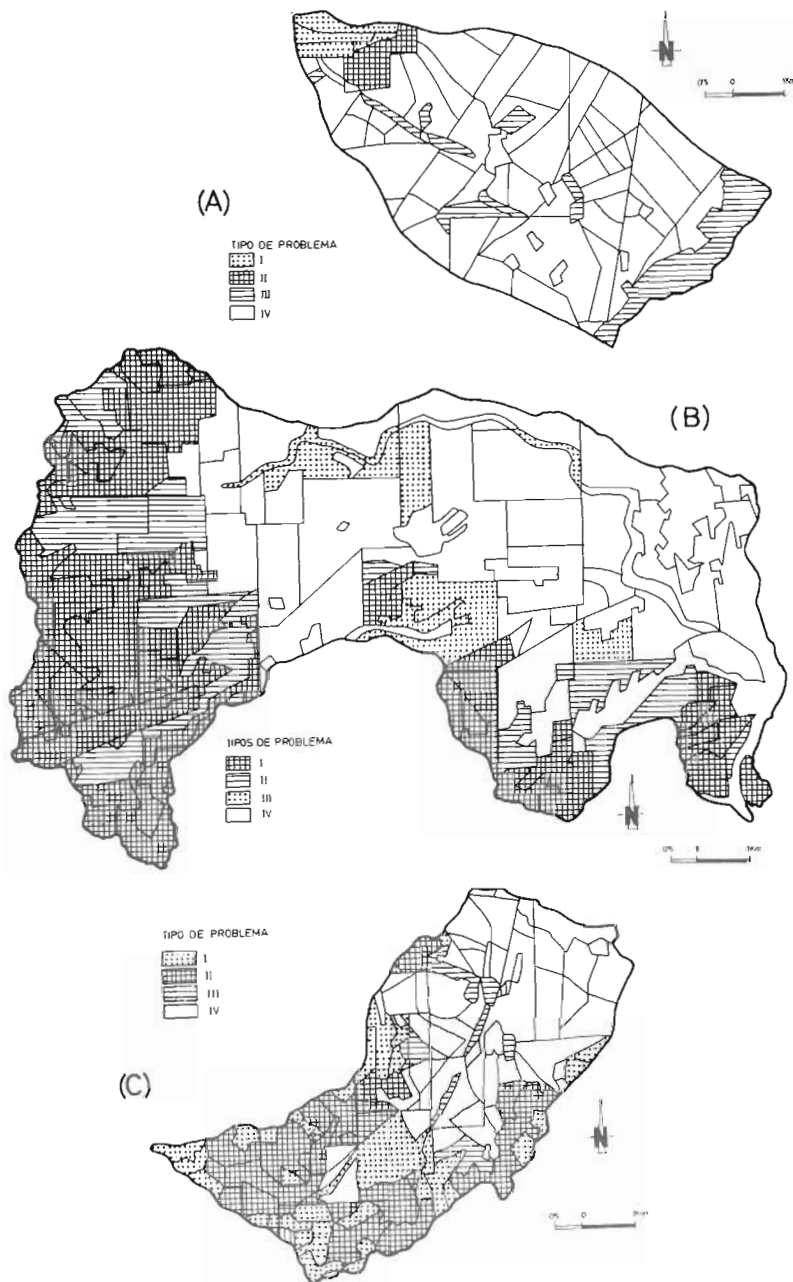


Fig. 24.- Representación espacial de los problemas de erosión del suelo y sedimentación fluvial Cuencas de la Rambla del Cabezo Gordo (A), Rambla de Benipila (B), y Rambla de Carrasquilla (C)

madamente se corresponde con la superficie del Cabezo Gordo incluida en dicha cuenca, puede calificarse de problemática.

En la cuenca de la Rambla del Albuñón (2) también es importante la superficie adscrita al problema tipo IV (70 por ciento), como consecuencia del semiendorreísmo de algunas áreas, la desconexión de ramblas secundarias con el colector principal y la amplia extensión de terreno dedicada a labores agrícolas intensivas. Con problemas de sedimentación (Problemas tipo I y III) aparece un 11,5 por ciento de las tierras de la cuenca, mientras que el 18,5 por ciento restante muestran problemas de erosión pero no de sedimentación (Problema tipo II), siendo éste el caso de pequeños y suaves mogotes interiores, retazos del glacis Villafranquiense de Los Cánovas-Truyols, con los que se identifican áreas de erosión local a veces muy distanciadas de las principales ramblas tributarias.

La cuenca de la Rambla de la Carrasquilla (4) mantiene esta tónica, aunque con algunas diferencias: alrededor del 33 por ciento de sus tierras presentan problemas de erosión (Problemas tipo I y II) y en torno al 17 por ciento proporciona una importante cantidad de sedimentos (Problemas I y III). En cambio, la mayor parte del área de esta cuenca (62 por ciento) carece de estos problemas.

Los resultados obtenidos en las cuencas de las Ramblas de Benipila (3) y Portús (5) difieren bastante de los resultados descritos hasta ahora. Las áreas sin problemas se reducen a un 47 y 25 por ciento, respectivamente. Aumenta la proporción de sectores de fuerte erosión potencial, en torno al 40 por ciento, y de las tierras con problemas de sedimentación, llegando a significar estas últimas, en la cuenca de la Rambla del Portús, más del 55 por ciento.

Los suministros de sedimentos a los cauces de las ramblas, en las esporádicas corrientes superficiales de otoño, suelen proceder de áreas relativamente pequeñas, pudiéndose hablar de una concentración de la liberación de sedimentos aguas arriba, en los sectores de cabeceira. Más del 53 por ciento de la carga de sedimentos fluviales se origina en menos del 20 por ciento en las cuencas de las Ramblas de la Carrasquilla y del Portús, y más del 55 por ciento de la producción total de sedimentos en las cuencas de las Ramblas del Cabezo Gordo y del Albuñón se efectúa en sectores con problemas tipo II, o sea con fuerte erosión y escasa aportación de sedimentos a los cauces fluviales. La mayor parte de los materiales erosionados, librados por la acción de intensos aguaceros, recorren poca distancia desde el área fuente, originando pequeños "seudo-deltas" interiores o derramándose con mayor frecuencia en terrenos llanos de difícil drenaje.

Los resultados de las cuencas situadas al Oeste de Cartagena son bastante diferentes, puesto que son áreas seriamente problemáticas, con elevados índices de pérdida de suelo y generación de sedimentos, y distribución más uniforme de las áreas afectadas por los problemas I, II y III.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE ARROYADA Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS

Una mayor aproximación al conocimiento de las cantidades de suelo y carga de sedimentos se ha efectuado experimentalmente, a modo de ejemplo, en la cuenca de la Rambla de la Muela (Cuenca del Portús), tomando por base los resultados de ensayos de diversos autores (LÓPEZ BERMÚDEZ et al., 1985; LASANTA, 1985; FRANCIS, THORNES et al., 1986).

3.1. Ubicación de parcelas experimentales. Cuenca de la Rambla de la Muela

El sector escogido, situado junto a la Rambla de la Muela, un kilómetro aguas arriba de su confluencia con la del Portús, reúne diferentes condiciones físicas y de usos del suelo, razón por la que ha sido posible establecer en él parcelas de trabajo con distinto grado de erosión:

Parcela 1. Subcuenca vertiente a la Rambla de la Muela por su margen derecho, con una superficie de 450 m² y una pendiente media de 27,2 por ciento, labrada en materiales coluviales con abundante matriz franco-arcillosa, sobre la que existe una cobertera vegetal poco densa de matorrales (espino negro, aulaga...) y brezal de roca (fig. 25). La distribución de los coluviones es caótica. A lo largo de la ladera se intercalan de forma diseminada grandes bloques (mediana = 32 cm.; centilo = 71 cm). Alternan con ellos cantos de tamaño

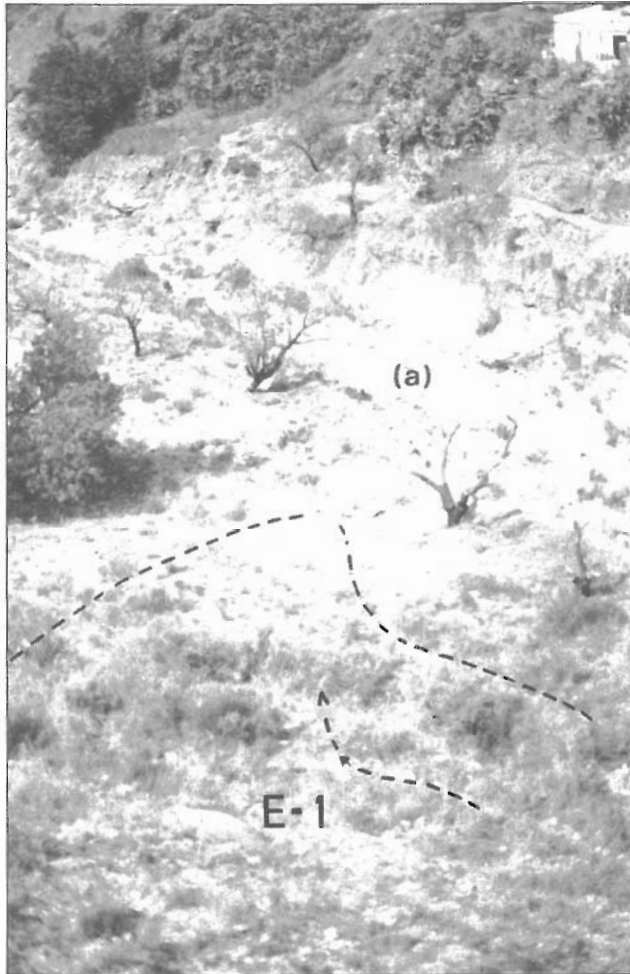


Fig. 25.- Parcela experimental E-1. (a) Rambla de la Muela

heterogéneo, predominantemente calizos y dolomíticos. En la parte alta de la subcuenca la erosión del suelo aparece trabada por la fijación de los bloques en rellanos colonizados por formaciones de matorral (fig. 26). En superficie se observa gran cantidad de gravas y cantos sueltos.

Parcela 2. Comprende una superficie de 10 m², con pendiente similar a la de la parcela anterior (28 por ciento). Litológicamente difiere de ésta por tener mayor proporción de arenas y gravas (las arenas constituyen el 70-80 por ciento de la fracción fina). Carece de bloques y sólo en la parte baja presenta cantos de importantes dimensiones empastados en una matriz arcilloarenosa (fig. 27).

Parcela 3. Terreno de 20 m² labrado en margas y arenas, con surcos dispuestos en el sentido de la pendiente. La profundidad de los caballones varía de 10 a 15 cm., su anchura es el doble y la pendiente media se sitúa en el 16 por ciento.

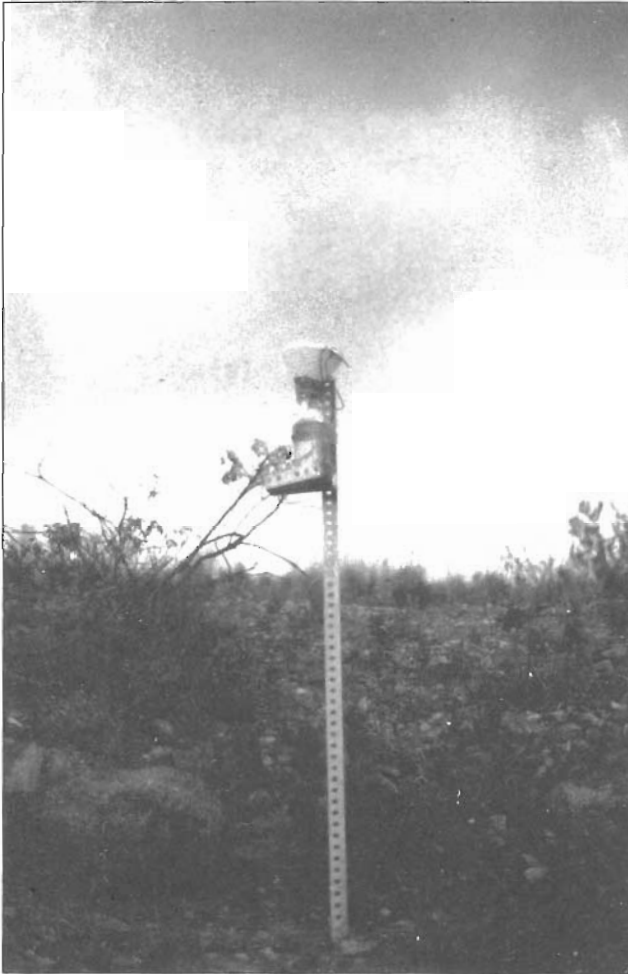


Fig. 26.- Pluviómetro instalado en la parcela E-1. Rellano alto de la cuenca con bloques

Para la obtención de datos de precipitación en la Parcela 1 se ha instalado en la parte alta de la misma un pluviómetro (fig. 26). Para las otras parcelas se ha empleado comúnmente la información de un pluviómetro muy próximo a ellas. Los datos de intensidad de la lluvia han sido proporcionados en su mayor parte por los vecinos del área, siendo en algunos casos cotejados con observaciones propias.

Los valores de descarga de corriente y de sedimentos han sido obtenidos experimentalmente mediante la instalación de cajas y cubetas colectores en los puntos de máxima concentración de la arroyada.

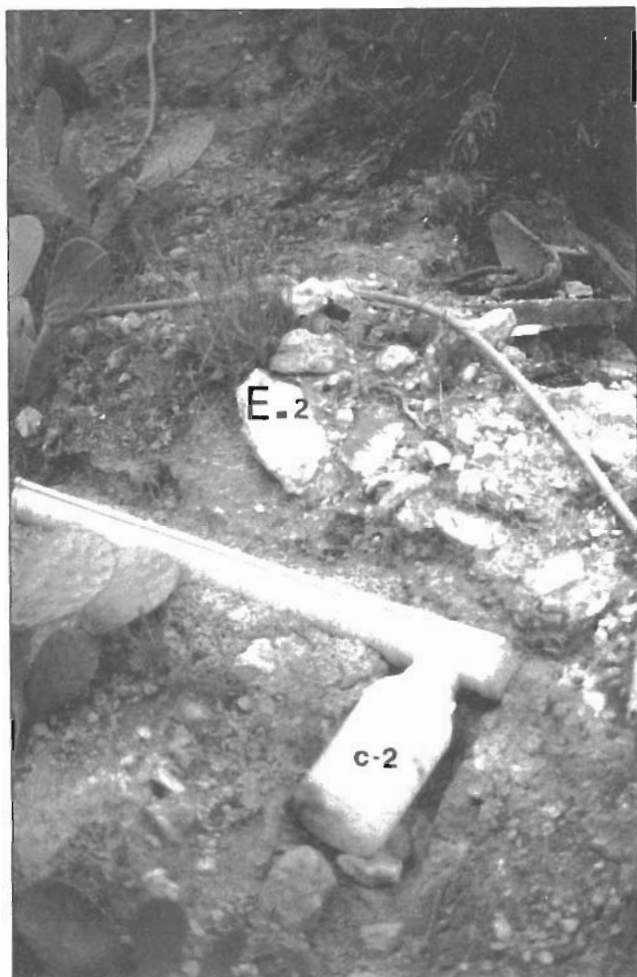


Fig. 27.- Parcela experimental E-2

3.2. Análisis comparativo de los resultados

Los datos de descarga de corrientes relativos a tormentas con precipitación superior a 1 l/m² se especifican en el cuadro 11. La información recogida se refiere al período octubre de 1985 a enero de 1987. A pesar de las limitaciones impuestas por este corto espacio de tiempo, se pueden apuntar ya algunos resultados:

Los volúmenes de escorrentía superficial varían de 0 a 85,1 litros en la Parcela 1, de 0,04 a 6,04 litros en la Parcela 2 y de 0 a 4,03 litros en la Parcela 3. El valor medio de la descarga en coluviones con abundante matriz arcillosa es de 25,23 litros en la estación 1 (la desviación standard, 34,46). En los terrenos franco-arcillosos con gravas de la Parcela 2 la descarga media por tormenta se cifra en 3,49 litros. En la Parcela 3, formada por margas y arena, dicha descarga es de 1,38 litros (desviación standard, 3,15).

Cuadro 11
Volúmenes de corriente superficial en relación con la cuantía e intensidad de las lluvias (Parcelas 1, 2 y 3)

Fecha	Precipitación (mm)		Duración de la tormenta (h,')	Régimen de la precipitación (*)	Descarga o volumen de escorrentía (litros)		
	E-1	E-2 y E-3			E-1	E-2	E-3'
10-X-1985	21,0	22,7	2,00	Cf	26,35	3,81	1,76
26-X-1985	30,1	29,3	1,15	Cf	54,10	5,95	3,04
14-XI-1985	25,6	26,1	5,00	If	42,10	5,02	2,24
15-XI-1985	5,7	5,6	9,30	Id	6,04	1,30	0,00
16-XI-1985	21,3	21,0	10,20	If	74,10	5,20	1,95
6-IV-1986	10,6	10,1	1,05	Cf	0,00	1,00	0,00
30-V-1986	24,8	23,2	1,35	Cf	3,00	3,37	1,62
13-VII-1986	13,7	14,0	1,00	If	2,16	1,93	1,00
26-VII-1986	11,4	10,5	0,45	Cf	0,43	1,53	0,00
28-IX-1986	15,1	14,9	9,00	Cd	12,50	2,67	1,37
29-IX-1986	9,8	9,1	17,45	Cd	13,80	1,87	0,15
30-IX-1986	22,0	21,8	8,20	If	72,10	4,31	2,90
4-X-1986	36,2	37,5	6,30	Cf	79,50	5,23	3,91
5-X-1986	40,8	42,3	8,45	If	85,10	6,04	4,03
12 y							
13-X-1986	6,0	5,5	2,50	Cd	5,77	0,85	0,12
17-X-1986	4,2	4,4	1,10	If	3,21	0,55	0,08
27-I-1987	3,1	2,7	2,00	Id	0,00	0,15	0,00
30-I-1987	1,2	1,4	1,30	Id	0,00	0,04	0,00
Media (período)					26,68	3,38	1,34
Media (año 1986)					25,23	3,49	1,38
Desviación standard (año 1986)					34,46	3,57	3,15

(*) Cf: continua fuerte.

Cd: continua débil.

If: irregular con chaparrones.

Id: irregular con lluvias poco intensas.

El análisis comparativo de estos resultados, teniendo en cuenta la superficie de las distintas parcelas, demuestra que existen diferencias de descarga muy significativas en relación con el tipo de litología. Proporcionalmente en la Parcela 2 se produce por unidad de superficie el quíntuple de la descarga registrada en la Parcela 3, donde se da el menor índice de escorrentía superficial como consecuencia de su menor pendiente y la alta capacidad de infiltración de las arenas.

La estación con mayor descarga es otoño, que representa el 73,3 por ciento de la producción en 1986.

Para el mismo año (1986) se ha calculado el índice de denudación absoluta utilizando los datos de sedimentos recogidos en los Colectores 1, 2 y 3 (cuadro 12).

Cuadro 12
Producción de sedimentos anual y en condiciones de otoño (Parcelas 1, 2 y 3)
(Cuenca de la Rambla de la Muela)

Parcela	Area (m2)	Litología	Pendiente (%)	Usos del suelo	Producción de sedimentos			
					media		total (parcela)	
					Kg/m2		Kg	
					otoño	año	otoño	año
E-1	450	coluviones empastados en matriz franco-arcillosa	27,2	cubierta vegetal baja; discontinua (rhamnus lycioides, helianthemum salicifolium, anthyllis cytisoides.)	0,73	1,26	328,5	567
E-2	10	coluviones, matriz arenosa y gravas sueltas	28,0	sin vegetación; flanqueada por pequeños ejemplares de opuntia ficus indica	0,91	1,53	9,1	15,3
E-3	20	arenas y margas	16,0	terreno arado, en barbecho; surcos en el sentido de la pendiente	1,19	1,98	23,8	39,6

Como, a excepción de la Parcela 3, los sedimentos producidos en invierno son muy escasos (del orden de 2 a 20 gramos por tormenta), su exclusión en la evaluación de la pérdida anual de suelo no altera apenas el resultado final de las estaciones 1 y 2. La pérdida media anual de suelo para 1986 es de 1,26 Kg/m²/año en la Parcela 1 y de 1,53 Kg/m²/año en la Parcela 2. Esta diferencia se debe al mayor índice de escorrentía superficial (sin duda condicionado por el menor tamaño de la parcela) y a la menor protección vegetal de la vertiente 2. Además, las gravas y arenas liberadas en esta última estación son más abundantes. El índice más elevado de producción de sedimentos responde a la Parcela 3, 1,98 Kg/m²/año, cantidad algo superior a la obtenida por FRANCIS (1985) en margas, bajo condiciones climáticas y topográficas similares.

Estos valores representan una pérdida de suelo de 12,6 a 19,8 T/Ha/año. El coeficiente

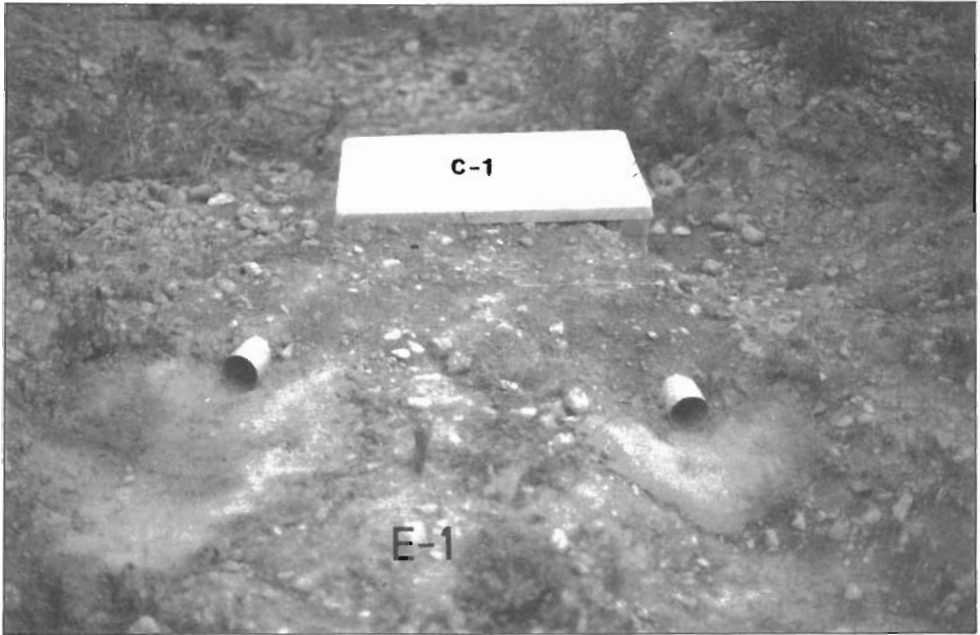


Fig. 28.- Colector principal de la cuenca E-1

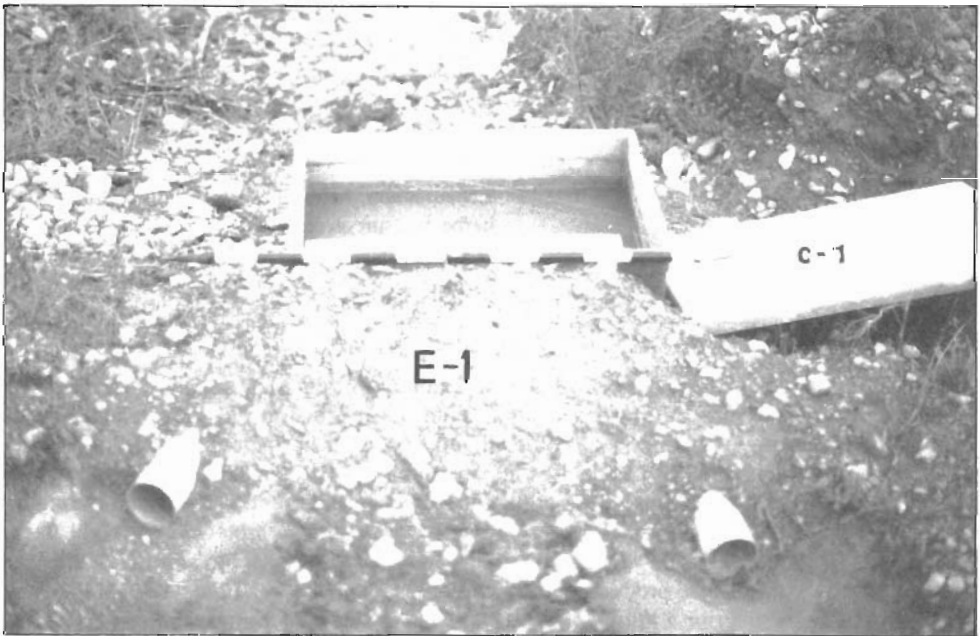


Fig. 29.- Volumen de la descarga de escorrentía producida el 5 - octubre - 1986 en la Parcela E-1

de variación de las cargas de sedimentos de las distintas tormentas es muy alto (0,81). La mayor producción de sedimentos se registra en las tormentas de otoño, donde por regla general se genera más del 55 por ciento del total anual.

Al comparar estos resultados con los obtenidos mediante la aplicación del modelo GAMES, se comprueba que la pérdida real de suelo es considerablemente superior a las cargas medias de sedimentos que alimentan el transporte fluvio-torrencial de la Rambla del Portús, hecho que en otras cuencas como las de las ramblas del Albujón, de la Maraña o del Ciprés es todavía mucho más apreciable. En el área comprendida por las tres parcelas experimentales, la carga media de sedimentos correspondientes a la estación de otoño de 1985 y 1986 es de 7,3 a 11,9 T/Ha, cantidad 5 veces superior a la que engrosa la carga fluvial.

4. CONCLUSIONES

La erosión hídrica en el Campo de Cartagena, y en sentido más amplio en el Sureste Español, es un problema grave que se hace particularmente acuciante cuando sobrevienen fuertes avenidas, responsables directas no sólo de cambios morfológicos en cauces y áreas próximas sino también de importantes pérdidas económicas, sobre todo agrícolas. La evaluación de la gravedad de este fenómeno requiere la aplicación de métodos y técnicas de trabajo adecuados a las características físicas y morfométricas de las unidades hidrológicas del área.

La utilización de métodos clásicos de estimación empírica como la Ecuación de Pérdida de Suelo (WISCHMEIER y SMITH) o las Ecuaciones de Correlación de FOURNIER han permitido distinguir una extensa área llana, con declive casi nulo, caracterizada por elevados índices de protección del suelo (80 por ciento de las tierras cultivadas) y magnitudes de erosión inapreciable o ligera (0,5-5 Tm/Ha/año), y sectores periféricos montañosos, con litologías variadas, pendientes acusadas y niveles de pérdidas de suelo de moderados a altos (25-50 Tm/Ha/año), según criterios de FAO-PNUMA-UNESCO (1980) e ICONA (1982).

Sin embargo, a pesar de haber puesto de manifiesto estos métodos un ritmo de erosión especialmente relevante en las vertientes margosas de la Sierra de Carrascoy (Sierras de Escalona y Altaona) o en terrenos removidos de la Sierra de La Unión, el valor obtenido como promedio para el Campo de Cartagena (4,5 Tm/Ha/año) es bastante bajo en comparación con los datos experimentales conseguidos en puntos de diferentes condiciones (litológicas, topográficas, de usos del suelo...) pertenecientes a parcelas de poco declive ubicadas en la cuenca de la Rambla de la Muela (cuenca costero-meridional), donde la producción de sedimentos representa en el período X-1985-I-1987 una pérdida de suelo de 12 a 20 Tm/Ha/año. La diferencia entre dichos métodos de cálculo y la evaluación directa en el campo pone de manifiesto la necesidad de aumentar el número de parcelas experimentales que contemplan una mayor diversidad de propiedades físicas de las cuencas.

Pero en ningún modo ello debe excluir la aplicación de modelos matemáticos, como el GAMES (Guelph Model for evaluating the effects of Agricultural Management Systems on Erosion and Sedimentation) que incorporan parámetros de calibración "inter-cuencas" (DICKINSON y RUDRA, 1986) e incluyen factores de pluviometría, protección natural del suelo y ordenación de cultivos diferentes según las estaciones del año, y cuyos resultados son más acordes con los obtenidos experimentalmente.

III

EFFECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS AVENIDAS. EL IMPACTO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MORFOLOGÍA DE LOS CAUCES

Desde un punto de vista geomorfológico los efectos reales de las avenidas en el Campo de Cartagena no tienen la espectacularidad de los daños materiales producidos directa o indirectamente sobre su población. No obstante los momentos de aguas altas, que frecuentemente sobrevienen de forma brusca después de un largo período seco, suelen ser muy favorables para la rotura de umbrales en situaciones morfológicas metaestables con carácter local. Estos momentos representan fases claves en la evolución morfológica de vertientes y cauces, traduciéndose en recubrimientos de lodos, barras recrecidas, formación de pequeños “rápidos”, socavamientos y erosiones puntuales en cauces y movimientos gravitatorios locales en laderas. de hecho, según testimonio de SCHUMM, 1977 y 1978; GARZÓN, 1985, la evolución geomorfológica es un conjunto de pequeños eventos interrumpidos por largos períodos de inactividad, de modo que la ocurrencia de fenómenos geomorfológicos extraordinarios de carácter catastrófico, no puede en absoluto ser menospreciada.

I. EROSIÓN HÍDRICA E IMPACTO GEOMORFOLÓGICO

Por lo que se ha podido comprobar a partir del seguimiento de las últimas “riadas” su impacto geomorfológico difiere sensiblemente de unas cuencas a otras, siendo obvia la tendencia de excavado lineal de los cauces de órdenes inferiores (regueros, cárcavas, ramblizos, barrancos...) la erosión del suelo en amplios sectores de cabecera, particularmente en las cuencas de las Ramblas del Albujón, Benipila, Beal, Ponce, Portmán...), socavamiento de los márgenes en los tramos medios, con ruptura de equilibrio de sus materiales, fragmentación y derrumbe de muros de revestimiento y, por último, la sedimentación de acarreo sólidos en los sectores bajos.

Los procesos erosivos desarrollados en estas avenidas se caracterizan no sólo por su actividad de dismantelamiento del suelo e incisión de laderas, sino también por la importante producción de sedimentos que ello representa. En la mayoría de las cuencas estudiadas, la erosión se manifiesta básicamente de otras formas: erosión lineal en cárcavas, barrancos, erosión del suelo en tramos de cabecera, erosión en los márgenes y modificaciones en el lecho de las ramblas.

La erosión del suelo en las cuencas fluviales y laderas, aunque no se trate de un fenómeno del cauce propiamente dicho, no puede desligarse del proceso de avenidas. De

hecho, las condiciones de sobresaturación del suelo que las situaciones de avenida provocan, favorecen una escorrentía superficial generalizada y un transporte de partículas considerable. El grado de saturación favorece asimismo los procesos de erosión por sufusión o sifonamiento (piping), que constituye mecanismos básicos de retroceso y excavación de laderas, y de encajamiento y/o formación de nuevos cauces (tramo alto de la cuenca del Río Seco).

Por otra parte, la erosión pluvial que acompaña a la escorrentía torrencial tiene en ocasiones efectos destructores sobre los suelos. Concretamente, la intensa ablación de los suelos por impacto directo de los aguaceros de octubre de 1986 afectó a buena parte de las cuencas septentrionales del Campo de Cartagena, pero sobre todo dejó claro testimonio en la vertiente izquierda de la Rambla del Albuñón, aguas arriba de Cuevas de Reylo. Los mayores desmantelamientos de suelos agrícolas en estas fechas fueron observados en los parajes de Los Milanos, Escobar, Almagros y Lomas de Butrón (cuenca de la Rambla del Albuñón), Cañada de Lorca (cuenca de la Rambla de La Murta), Solana del Cerrillar (sectores altos de la cuenca de la Rambla del Ciprés-Campoy).

En las cuencas de las Ramblas de los Monreales y Cobachos, y en los tramos altos de las drenadas por Las Ramblas de la Murta y Corvera, el barrido de los suelos agrícolas en parcelas dedicadas a frutales de secano (almendros sobre todo) fue de hasta 20 centímetros, profundidd prácticamente similar a la altura media de los surcos arados en estas tierras. En parajes situados al Norte de Corvera o en terrenos "alomados" junto a la carretera del Escobar-La Murta, se observa cómo los surcos, labrados según el sentido de la pendiente, facilitan la concentración de la arroyada y, por consiguiente el desmantelamiento del suelo. Al desplazarse parte de éste, lo hace generalmente, la superior que es la más fértil, por su mayor contenido en nutrientes. Asimismo, son las partículas más finas las que se arrastran con mayor facilidad, siendo éstas las que absorben y retienen más nutrientes (BOULAINÉ, 1981).

Junto a estas partículas finas son transportadas las partículas residuales y gran proporción de nutrientes solubles, como el nitrógeno nítrico, que desaparece por causa de la arroyada, mientras que la disminución o destrucción del fosfato suele estar ligada a la erosión de sólidos (HUDSON, 1975). De este modo, no sólo disminuye la profundidad de la capa edáfica, sino que además permanece la que posee menor riqueza agrícola, a la vez que favorece, mediante el laboreo, la conversión del subsuelo, menos fértil, en perfil cultural.

Al Sur del Estrecho y Lobosillo, entre Los Cárceles y Casa Segada, el desbordamiento de la Rambla de Fuente Alamo de octubre de 1986, hizo circular por su lecho de inundación episódico una lámina de agua de 1 a 2 metros de altura y 250 metros de anchura. El amplio lecho ocupado por vegetación arbustiva y algunos cultivos de almendros y algarrobos fue desmantelado en gran número de puntos en 10-30 centímetros de profundidad (fig. 30).

En El Albuñón, la Rambla de este mismo nombre condujo una tromba de agua de más de 2 metros de altura, que irrumpió sobre el puente de la carretera N-301 Cartagena-Madrid, y cubrió la totalidad de su lecho de inundación episódico, arrasando gran cantidad de limoneros, algarrobos y almendros y originando importantes pérdidas de suelo (figs. 31 y 32). Los taludes de nivelación de las terrazas sirvieron de rápidos a la escorrentía, acrecentando la erosión en sectores inmediatos aguas abajo, interpuestos entre aquéllos y las pozas amplias y poco profundas que actuaron como zonas de remanso.

Fuera del lecho de inundación de las ramblas, en terrenos de pendiente prácticamente nula o nivelados, y ocupados por almendros, el desmantelamiento de los horizontes edáficos superficiales fue mucho menos acusado, quedando, no obstante, áreas totalmente encharcadas con gran número de caballones destruidos, como ocurrió en Los Campillos y Los Martínez del Puerto.



Fig. 30.- *Lecho de inundación de la Rambla de Fuente Alamo 1,5 al suroeste de Lobosillo (7-octubre-1986)*



Fig. 31.- *Desmantelamiento de suelo agrícola en el lecho de la Rambla del Alujón (Alujón, 7-octubre- 1986)*



Fig. 32.- *Lecho de inundación episódica de la Rambla del Alujón, junto a la localidad del mismo nombre (6-octubre-1986)*

En los parajes de Los Cánovas y Cuevas de Reylo, donde las parcelas por lo general no rebasan el 1 por ciento de pendiente, los dismantelamientos del suelo por escorrentías laminares o regueros tuvieron especial importancia, sobre todo en terrenos en los que los surcos del arado sirvieron de guías de erosión. En éstos y otros muchos sectores septentrionales de la comarca aparecieron numerosas cicatrices, singularmente profundas en las motas o taludes de separación entre las parcelas aterrazadas. En terrenos roturados que han permanecido sin cultivar uno o dos años se aprecia un ritmo de erosión extremadamente acelerado (fig. 33).

En los sectores de cabecera con fuerte pendiente, constituidos predominantemente por materiales blandos (rocas carbonatadas, margas), descubiertos de vegetación, aparecen,

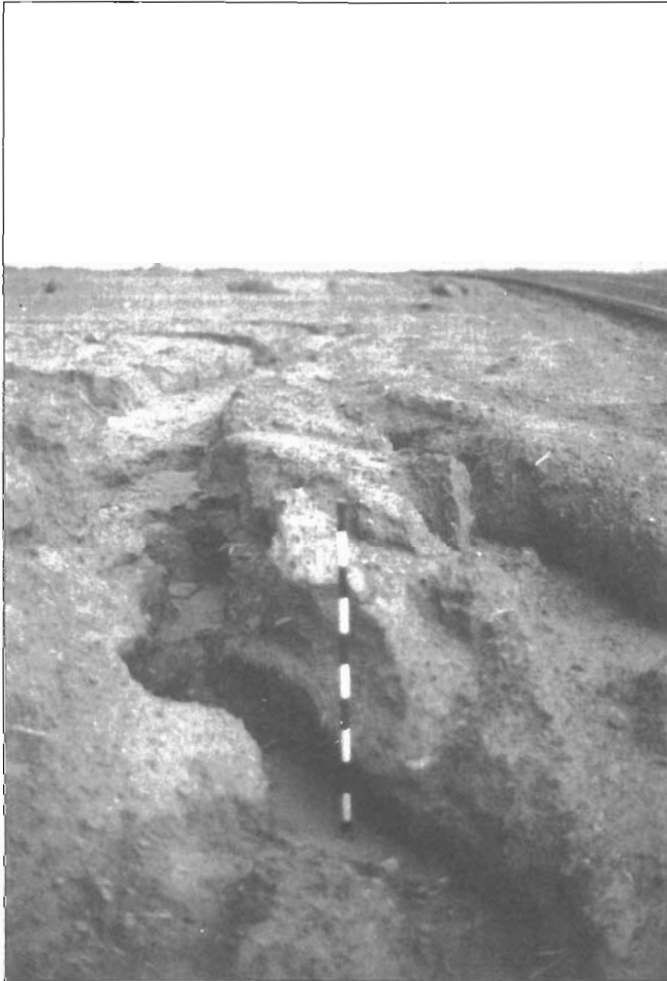


Fig. 33.- *Aceleración del acaravamiento en terrenos limosos no cultivados. Efectos de las lluvias torrenciales de noviembre de 1987 (proximidades del Mirador-San Javier)*

como consecuencia de la concentración del arroyamiento, gran número de regueros y cárcavas con profundidades que evolucionan rápidamente en el transcurso de episodios cortos y esporádicos de escorrentía muy dinámica. En las avenidas de febrero de 1985 y octubre de 1986 se constata la presencia de nuevos regueros en los materiales carbonatados de La Solana de Carrascoy, Cabezo del Charco y La Pala, así como en limos y arcillas del tramo alto de la Rambla del Mergajón, Rambla de Mingrano y Barranco de Pinto (áreas suroccidentales de la cuenca de la Rambla del Albujón). Sobre este mismo tipo de litologías se aprecia además una excavación bastante significativa en las cárcavas y barrancos ya existentes, con valores máximos de profundización que oscilan entre 2 y 20 centímetros para ambas avenidas.

El agrietamiento y ruptura de los márgenes de las ramblas son otras manifestaciones de la acción mecánica ejercida por la corriente torrencial. En la Rambla de la Murta, Fuente Alamo, Mergajón y La Azohía, los ejemplos se suceden, afectando con frecuencia a parcelas cultivadas. Producto de los efectos de éstas y otras crecidas anteriores son los múltiples boquetes y depósitos basales originados por derrumbamientos en márgenes limo-arcillosos de la mayor parte de ramblas del área y muy particularmente en los tramos de aquéllas que atraviesan los frentes distales de los abanicos aluviales de Carrascoy, la Rambla del Portús y la Rambla de Bocaoria.

Los socavamientos, deslizamientos y rotura de obras de mampostería o muros de revestimiento de estos márgenes construidos en puntos muy localizados con el fin de proteger caminos, carreteras o fincas particulares es otra expresión visible de los impactos producidos por las avenidas. Movimientos básicos comúnmente registrados en arcillas como desprendimientos, deslizamientos rotacionales (circular, superficial, o no circular), deslizamientos compuestos (rotacional-traslacional), flujos de fango, y otros de tipo más complejo (deslizamientos sucesivos, en coluviones...) son los principales responsables de la fragmentación y derrumbe de numerosos muros de revestimiento. Algunos de ellos mal construidos, como los situados al Este de Canteras en la Rambla de las Peñas Blancas.

La erosión en los márgenes se produce sobre todo por efecto del arrastre de material previamente preparado por deslizamientos o desprendimientos anteriores y ello a su vez favorece la ocurrencia de otros nuevos. Sin embargo, este proceso no ocurre de forma generalizada y en cualquier tramo o tipo de cuenca. Su acción se concentra en lugares puntuales, como tramos de afluencia de tributarios, en los márgenes cóncavos de cursos de cierta sinuosidad (Rambla de Peñas Blancas, Rambla del Portús, Barranco de Grajera) y por la presencia de obstáculos locales, cambios de facies litológica o interposición de materiales artificiales, obras de cementación (pie del puente de la carretera Cartagena-La Manga, a la altura de Los Belones, Rambla de la Carrasquilla).

En la cabecera de las cuencas de la Rambla de Los Monreales y Rambla Honda (vertiente Sur de la sierra de Carrascoy) algunos ramblizos cuentan con abundante material de arrastre procedente de pequeños deslizamientos en ladera. Sin duda, en esta rotura, la presión de agua jugó un papel importante, pues los ángulos de fricción interna en superficies de discontinuidad en filitas y pizarras intercaladas en rocas carbonatadas superan ampliamente la media de 20° en talud seco. Sin embargo, debido al trazado poco sinuoso de estos cauces la erosión directa desarrollada en sus márgenes por acción tractiva no fue tan importante como parecía sugerir la gran cantidad de partículas disponibles para el transporte. Además como ya han puesto de manifiesto BRADFORD y PIEST (1980), hay que tener presente que la cantidad de sedimentos en suspensión suele ser muy alta inmediatamente después de una avenida y decrece súbitamente aun en el momento de caudal punta, de modo que es preciso la existencia en estos márgenes de cambios tensionales, variaciones de textura, ángulos de fricción y de pendiente críticos para que el arrastre directo tenga una

importante incidencia en los procesos de ruptura. Y “a ello debe unirse la gran sensibilidad del riesgo de rotura a las variaciones de presión intersticial” (ALONSO PÉREZ DE AGREDA, 1986).

Finalmente, las modificaciones en el lecho de estos cauces son también una clara muestra del dinamismo geomorfológico desarrollado por las avenidas. La movilidad, disgregación o recrecimiento de barras aluviales, las alteraciones de las formas de lecho con acentuación o no de pequeños rápidos y pozas, y los cambios de textura en las acumulaciones, son producto de situaciones excepcionales, cuando sobrevienen avenidas como las de octubre de 1973 o de mayor magnitud (fig. 34).



Fig. 34.- Entarquinamiento y formación de nuevas barras de lecho.
Proximidades del Albuñón (8-octubre-1986)

En lechos limo-arcillosos, de pendiente suave, con escaso o nulo suministro de gravas, los flujos de barro y las partículas depositadas durante el remanso de la corriente recrecen a menudo las barras centrales y diagonales así como los montículos fijados por la vegetación, existentes en los tramos medio y bajo de numerosas ramblas (Rambla de Fuente Alamo, Rambla de La Maraña, Rambla de la Peraleja...). Junto a dichos montículos se excavan pozas que terminan quedando encharcadas (fig. 35) y son objeto de una sedimentación lenta de limos y arcillas dando lugar a horizontes texturales muy finos, en ocasiones de considerable espesor que, al desecarse, originan fisuraciones y grietas muy profundas, como es el caso de las pequeñas hondonadas que se intercalan en el lecho del tramo medio de la Rambla de Fuente Alamo y Rambla del Portús (fig. 36).

En determinados sectores se produce la anegación de amplios lechos de inundación episódicos quedando éstos cubiertos por una extensa capa de lodos. En los parajes Casas Los Pintados y Casas Los Bernal el entarquimamiento provocado por el desbordamiento de la Rambla del Alujón los días 4 y 5 de octubre de 1986 llegó a rebasar en muchos puntos los 30 centímetros de altura.

Uno de los impactos geomorfológicos y medioambientales más importantes es la paulatina colmatación del fondo del Mar Menor como consecuencia de los sucesivos vertidos de sólidos procedentes de las ramblas que desaguan en la Laguna; elementos sólidos que en algunas ramblas como la del Beal y la del Carmolí no sólo provienen de acarros fluviales sino también de residuos minerales y otros desechos. Un ejemplo muy claro de la grave repercusión de estos aportes torrenciales es el que ofrecieron las playas de San Pedro del



Fig. 35.- Desmantelamiento de la parte central del lecho desprovista de vegetación. Rambla de Fuente Alamo. Paraje los Cárceles. 7 de octubre de 1986

Pinatar (Playa del Mojón) y de San Javier (Santiago de la Ribera) tras la fuerte avenida de principios de noviembre de 1987 (fig. 37). El mismo día de los intensos aguaceros y los dos siguientes pudo apreciarse una ancha franja de color marron en gran parte del litoral del Mar menor, debida a la enorme carga de materiales en suspensión que finalmente fue depositada.

Finalmente, con la desecación de los depósitos de materiales finos acumulados en los lechos de las ramblas sobrevienen efectos geomorfológicos de tipo "indirecto" (LÓPEZ BERMÚDEZ y GUTIÉRREZ ESCUDERO, 1983), cuya acción puede modificar sensiblemente la fisonomía originada inmediatamente después de una avenida. Una vez deshidratados y desecados, estos depósitos y parte de los sedimentos concentrados en "pozas", "sumideros" o lugares de "abrigo" en cuyo caso la desagregación es más lenta, pueden ser



Fig. 36.- Agrietamiento por desecación de depósitos limo-arcillosos.
Poza de lecho de la Rambla del Portús. Galifa



Fig. 37.- *Impacto geomorfológico de la avenida de noviembre de 1987 sobre la Playa de Santiago de la Ribera (San Javier). Irrupción de abundantes acarrees sólidos en toda su extensión*

afectados por deflación y corrosión eólicas, dando lugar a formas de modelado similares a las de los dominios áridos: Superficies estriadas, ripple marks y dunas. Sobre los aluviones de las ramblas que desaguan al Mar Menor, o del Río Seco, generalmente en los puntos de sus tramos medios y bajos no ocupados agrícolamente, estos fenómenos aparecen favorecidos por vientos de componente E y NE. En las ramblas meridionales que nacen en las sierras béticas costeras y drenan al Mar Mediterráneo (Ramblas del Portús, Bocaoria y Valdelentisco), los sedimentos de lecho están más protegidos de los vientos dominantes de la llanura del Campo de Cartagena, registrándose también y sobre todo en verano manifestaciones de acciones eólicas de componente SE.

2. LA EROSIÓN EN CAUCES DE CORRIENTE TORRENCIAL

2.1. Observaciones de campo: Metodología y resultados

Para el seguimiento de los procesos de erosión y tipos de ruptura en secciones de margen no cohesivas se ha establecido una red de puntos de observación localizados en las Ramblas de la Murta (1B), Valdelentisco (2B), Bocaoria (3B, 3C, 3D), Portús (4A, 4B, 4C), Benipila (5C) y Maraña (6B) (fig. 38).

Las secciones escogidas son áreas de 1 m² situadas en la parte baja del margen y comprenden varias facies granulométricas. De este modo una misma estación de control ha permitido el seguimiento de sedimentos con distinta textura, siendo posible analizar un

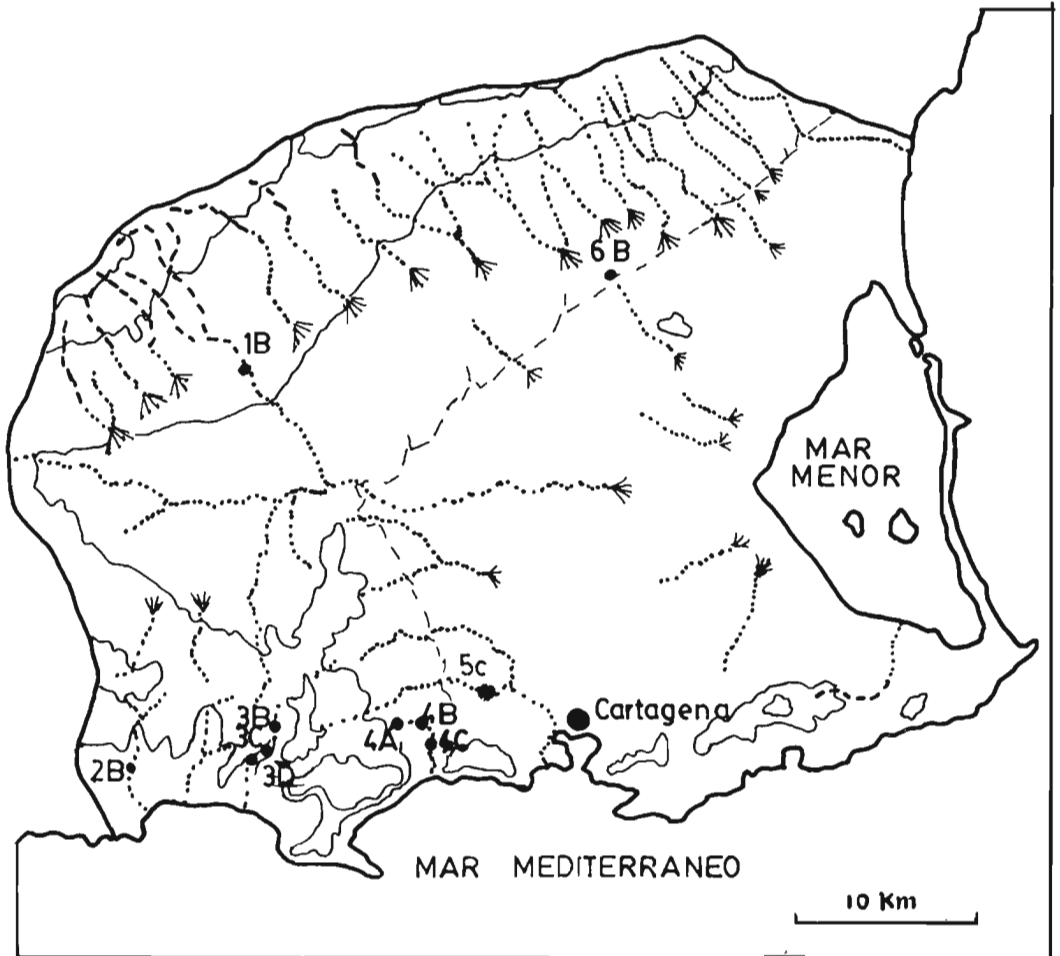


Fig. 38.- Punto de seguimiento de los procesos de erosión en cauces de escorrentía torrencial

conjunto de 46 muestras. Este procedimiento, consistente en clavar varillas de hierro en los vértices de un cuadro enrasando una marca con la superficie del margen, se ha empleado en muestras de partículas finas (<2 mm). En el caso de gravillas y gravas también se han escogido pequeñas secciones basales, procurando que tuvieran una estructura imbricada y pintándolas con spray para controlar su movimiento.

Por último, en 4 de las ramblas citadas (La Murta, Portús, Bocaoria y Valdelentisco) se instalaron estacas para medir la erosión regresiva en el período septiembre de 1982-diciembre de 1986).

Las comprobaciones de campo y el análisis granulométrico de las fracciones finas en el laboratorio muestran que las arenas carentes de materia orgánica son las partículas más erosionables. Un estudio más detallado, a partir de los datos representados en la fig. 39, ponen de manifiesto la creciente vulnerabilidad de los agregados arenosos conforme aumen-

ta la velocidad de la corriente. En avenidas con velocidad media del agua inferior a 0,2 metros por segundo los agregados arenosos, arcillo-arenosos y limo-arenosos constituyen el 63 por ciento de las secciones erosionadas, mientras que los arcillosos, aun con velocidades medias de 0,4-0,6 metros por segundo, sólo significan el 11 por ciento. Este hecho prueba que los terrones arcillosos tienen mejores estructuras y son más resistentes a la fragmentación.

El mayor incremento de erosionabilidad en relación directa con la velocidad del flujo torrencial lo experimentan los agregados arenosos y los sedimentos arcillo-arenosos de las ramblas meridionales costeras, quizá por tratarse de medios más áridos y con menor contenido de materia orgánica. Los agregados de este tipo, sometidos a aumentos de velocidad de flujo de 0,2-0,6 m/s, multiplican su erosionabilidad por cuatro e incluso más. La erosión de las arcillas sigue, en cambio, el índice de progresión normal obtenido en el resto de las ramblas (generalmente por debajo de 2 en las condiciones anteriores).

Respecto al retroceso del margen se observó que el debilitamiento del material "in situ" por efecto de los procesos de desgaste desencadenados en las crecidas es particularmente efectivo. Las proporciones de retroceso fueron estimadas como promedio en 50-80 mm/año para los limos y arcillas y 90-150 mm/año para las arenas y gravas sueltas.

En secciones de margen inestable no atacadas fluvialmente, los granos sueltos se deslizan por gravedad hasta acumularse en forma de cono al pie del margen, suponiendo un retroceso medio de la parte superior de 10-40 mm/año. Las secciones de margen no coherente, fluvialmente activas en febrero de 1985, sufrieron un retroceso máximo de 140-200 mm en tan sólo dos días (20-21). Las estaciones 4B y 4C, situadas en el tramo medio de la Rambla del Portús, registran los valores de erosión más altos dentro del grupo analizado. Las facies más afectadas fueron las capas de gravas alineadas horizontalmente y con estructura imbricada. También presentaron susceptibilidad a la erosión fluvial las arenas y gravas depositadas en la base de la E-4C después de la ruptura gravitacional. El control del movimiento de las gravas pintadas con spray permitió situar el inicio del arrastre en velocidades de flujo laterales superiores a 0,15 metros por segundo. Las rupturas por deslizamiento superficial se observaron en la parte alta del margen, una vez saturada de agua, después de descargas importantes sobre la base.

La circulación secundaria de la corriente, medida para la misma fecha en el tramo alto de la Rambla de Bocaoria (CONESA, 1985), tiende a formar anchas cavidades en el margen externo de estos cauces, producto del sentido giratorio de la vorágine del flujo torrencial. Procesos parecidos han sido ampliamente observados por ROZOOSKII (1957) y PERKINS (1970) en corrientes continuas moderadas. Una componente de este tipo hacia el techo del margen, con posibilidad de desbordamiento, disminuye considerablemente la tendencia del material a deslizarse por la parte inferior. En cambio, el encuentro de ramales de velocidad secundaria en torno a un recodo puede originar una fuerte corriente lateral y ésta provocar a su vez la formación de barras aluviales, adosadas al margen, por efecto de choque y descarga.

Los datos muestran además que pueden producirse cavidades más pequeñas en la proximidad del margen cóncavo, sobre todo cuando éste es empinado. El grado de tensión crítica y el factor de seguridad calculados mediante las ecuaciones expresadas más adelante, resultan insensibles a los cambios de dirección experimentados por la corriente en relación con el margen. Por el contrario, la trayectoria del material arrastrado aparece frecuentemente influida por el ángulo de corriente, hecho ya constatado por THORNE (1978) y PARKER (1979). Evidentemente, en ramblas de trazado sinuoso como es la Rambla de la Murta, los cambios de ángulo de la corriente en las partes bajas del margen originan sucesivos encurvamientos en las líneas del flujo, especialmente próximos al lecho, así como acusadas

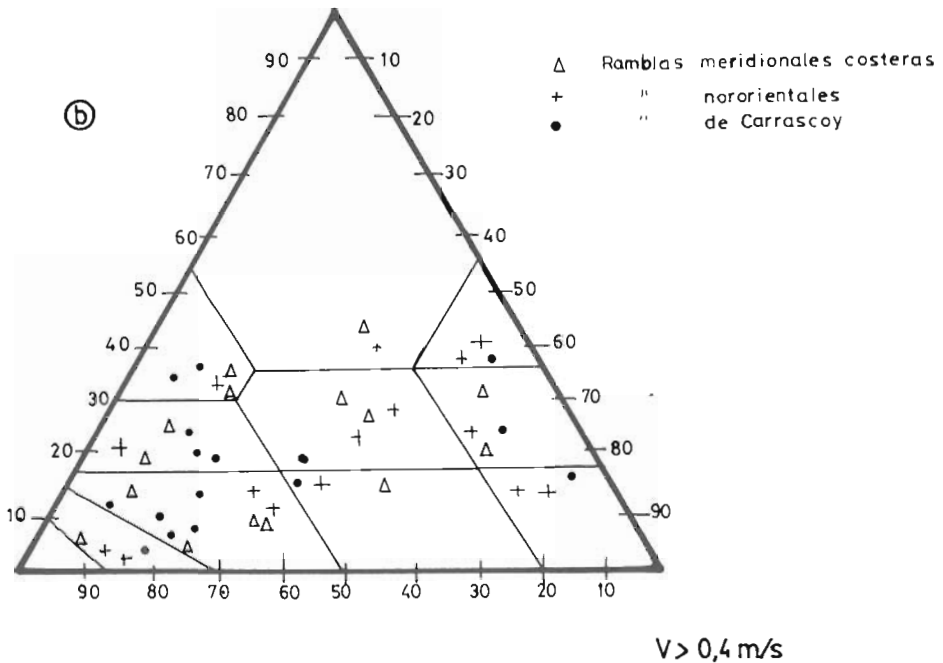
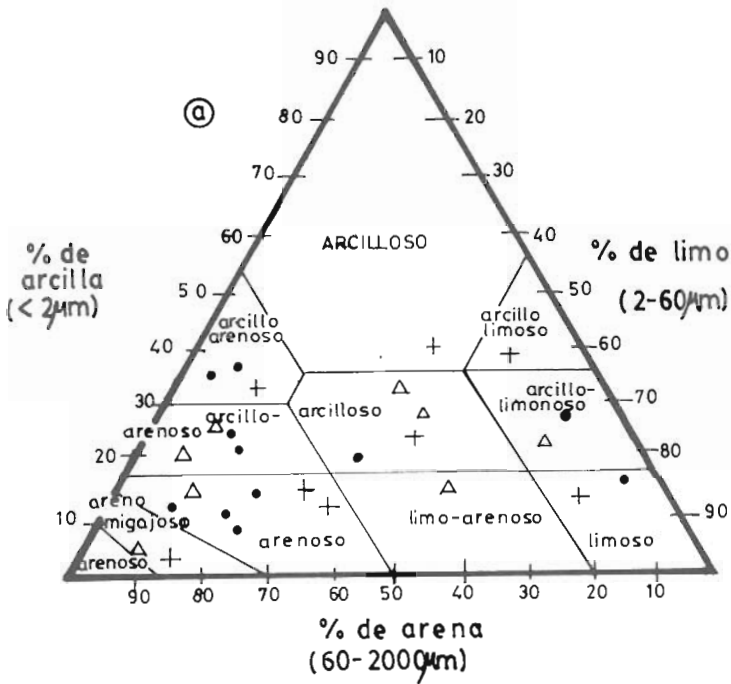


Fig. 39.- Distribución de tamaños de partículas en agregados erosionables por corrientes de baja y alta velocidad (ejemplos a y b). (Base; 46 muestras. Campo de Cartagena)

desviaciones de las zonas de corte, generando a menudo nuevos ramales de circulación secundaria que tienen importantes implicaciones en la estabilidad del margen, procesos de transporte de sedimentos y formación de barras móviles.

Sin embargo, el efecto más significativo de estas corrientes laterales es la deformación de las velocidades primarias, que hace aumentar localmente su radio de acción e intensifica el gradiente hidráulico en un área cercana, a la que comunica una alta tensión de corte. En opinión de BATHURST (1982), la filtración de las isovelocidades de corriente inferior es tanto más acusada cuanto mayor es la convergencia de la red de superficie de las circulaciones secundarias.

Las mayores modificaciones morfológicas, debidas a variaciones sensibles a la distribución de velocidades inferiores, se observan cerca de la base de los márgenes exteriores más empinados, lejos de la zona de alimentación (Rambla de La Murta, 1.B; Rambla de Benipila, 5c...). Aquí, la corriente torrencial inferior potencia el arrastre y la escorrentía basal, manteniendo la parte afectada un estado de equilibrio inestable.

2.2. Proceso de erosión en márgenes de ramblas

La importancia de los procesos hidráulicos y sedimentarios de las ramblas se suma en este área a la escasa competencia mecánica que oponen a los flujos las rocas afectadas. Más del 82 por ciento de la superficie del Campo de Cartagena lo integran materiales cuaternarios: arcillas, limos generalmente sueltos, entre los que se intercalan capas de derrubios y conglomerados poligénicos poco potentes.

Las formaciones más propensas a la erosión lineal y acreción lateral del cauce corresponden a los abanicos aluviales del Sur de Carrascoy, Las Torres, Campillo de Adentro, vertiente Norte de los Garabitos-La Muela y Galifa. En ellos son comunes las secuencias de arenas, limos y cantos de estructura cruzada y laminar. La costra caliza superficial, topográficamente superior en el primer caso, media e inferior en los demás, ha sido intensamente roturada por el hombre para aumentar la superficie agrícola, produciendo una aceleración general de los procesos erosivos fluviales.

Dentro de estos sectores, el cambio morfológico más visible, exceptuando los antrópicos, se constata en los márgenes muy inestables sometidos a mecanismos de ruptura. Entre los procesos de erosión predominan los efectos de "arrastre fluvial" y "socavación de niveles bajos". Normalmente son combinaciones particulares de procesos las que intervienen de modo más efectivo en este tipo de erosión.

Los mecanismos de ruptura difieren en función de las dimensiones, geometría y estructura del margen. Las singulares características sedimentarias de los abanicos de Cobachos y La Murta ponen de manifiesto la instalación de una red de drenaje especialmente activa en las proximidades de sus frentes distales. En estos puntos, en momentos de elevada carga hidráulica, la estructura y las propiedades texturales del material de los márgenes potencian extraordinariamente la acción de un socavado rápido y la producción consecuente de partículas sueltas para el transporte.

El predominio de sedimentos no cohesivos se explica por la morfodinámica de vertientes que a partir del Pleistoceno Inferior afecta a los relieves, sobre todo calcáreos, de este área Intrabética. En el transcurso de los períodos fríos del Cuaternario las vertientes han sido accionadas con intensa desagregación acompañada de secuencias de arroyadas difusas, deslizamientos y probablemente alternando con regímenes pluviométricos irregulares que han originado la mayor parte de los barrancos y ramblas actuales. De hecho, gran número de depósitos de piedemonte descansan sobre la costra villafranquiense o tramos limo-arcillosos pliocuaternarios.

La torrencialidad y la entropía de sus frecuencias, dentro de la serie climática observada en algunas estaciones (1951-80), en Cartagena "Puerto" (1919-35) (1954-58) (1968-82), son una muestra más del carácter de continuidad que el factor pluviométrico mantiene respecto de las últimas fases Holocenas, destacando entre sus efectos morfológicos básicos la incisión y modificación de la geometría de los cauces.

Por otra parte, la naturaleza, estructura de los elementos constitutivos del margen y la energía de la carga hidráulica tienen implicaciones muy importantes en el perfil, estabilidad y retroceso de los citados márgenes.

La erosión del margen es el principal mecanismo responsable de los cambios de anchura de estos cauces. El ejemplo más claro lo brinda la Rambla de Bocaoria, que a partir de su confluencia con la de Campillo se ensancha progresivamente aguas abajo hasta alcanzar 140 metros en la desembocadura. Próxima al Puntal de la Azohía esta rambla estrecha su cauce al encontrar una mayor oposición en depósitos de tipo coluvial: coladas de escombros (head) formadas por cantos y bloques englobados en una matriz fina procedente de la propia desagregación de las calizas triásicas. La avenida del 21 de febrero de 1985 (17,2 m³/s) supuso uno de los índices de socavación más bajos de cuantos se contabilizaron a lo largo de su recorrido por formaciones cuaternarias.

El análisis de los balances y relaciones de suministro de material y traslado en los sectores basales del margen requiere un tratamiento cuantitativo de los procesos implicados. En este sentido ha sido necesario desarrollar una ecuación de "competencia del margen" para definir los mecanismos de adaptación y control, dependientes directamente de la estructura de sus sedimentos (HEY y THORNE, 1984).

Los márgenes del lecho actual de algunas ramblas (Valdelentisco, Bocaoria, Loberas, Pestillo...), a menudo identificados con barras de gravas laterales o pequeños niveles de terrazas, suelen estar compuestos por arenas y gravas no coherentes coronadas por capas limo-arenosas más compactas y encostramientos.

En otros casos, aparecen pudingas especialmente resistentes a la corriente, que, adosándose a márgenes limoarcillosos de trazado cóncavo, obligan a elevar el nivel de socavación dando origen a un canal secundario. La anchura de este canal relativiza la forma y posición del depósito conglomerático, dejando paso a una barra central en lugar del tipo "point" o lateral.

Con el fin de investigar estos mecanismos, se ha hecho seguimiento de doce estaciones de observación repartidas en cuatro ramblas: La Murta, Valdelentisco, Bocaoria y Portús. Una serie de estacas, señalizadas previamente al ras del suelo, fueron instaladas en los sectores basales, ocupando el punto inferior de la vertical tangente al punto más sobresaliente del margen. De esta forma, ha podido obtenerse el grado de socavación, retroceso y balance acarreo/sedimentación.

En el período de observación (septiembre de 1982-diciembre de 1986) se ha comprobado que las estaciones emplazadas de acuerdo con las primeras condiciones, o sea en arenas y gravas sueltas en las capas inferiores, aluviones cementados en el techo, presentan el punto más sobresaliente de su lateral en el nivel de encostramiento superior o en los inmediatamente subyacentes, al tiempo que han visto acrecentada la distancia horizontal entre el sector basal y el extremo lateral de las partes altas del margen. En consecuencia, la parte inferior arenosa fue fácilmente erosionada por la corriente, mientras que los niveles encostrados superiores ofrecieron gran resistencia.

La profundidad del socavado varía mucho de unas estaciones a otras, notándose cierta correlación directa con la proporción de arenas sueltas, declive, valor de los componentes de velocidad hidráulica, geometría del margen... Los grados de erosión han sido estimados como promedio en 90-150 mm/año para las arenas y gravas sueltas, 50-80 mm/año para los

limos y menos de 5 mm/año para materiales encostrados. Valores bastante elevados en relación con el “funcionamiento esporádico” de las ramblas, que se explican por hallarse la mayoría de las medidas realizadas en avanzada fase de ruptura.

Esta disparidad en los grados de erosión fluvial ha provocado una evolución diferencial relativamente rápida en algunos márgenes. Las estaciones 4B y 4C, localizadas en el tramo medio de la Rambla del Portús, arrojan los valores de erosión más altos dentro del grupo escogido. Expuestas perpendicularmente al sentido del flujo, están formadas por bandas de arcillas y arenas trenzadas, en contacto con depósitos de cantos heterogéneos, alineaciones de grava, rápidos (“riffles”) y pequeñas barras móviles. Las condiciones topográficas locales favorecen estos procesos. Doscientos metros aguas arriba, la alternancia brusca de un rápido de 10 m. de altura y una poza (“pool”) ampliamente distendida aumenta el efecto turbillonario de la corriente, originando ramales de componente secundaria en dirección al sector donde se ubica el punto 4B.

En los puntos de control establecidos en la Rambla del Portús cabe destacar la singular efectividad que produce la acción simultánea de los mecanismos de agrietamiento y socavación.

Las grietas de contracción de las arcillas son a veces profundas. Los márgenes en esta rambla en el sector de Las Escarihuelas y Lo Manzano presentan grietas de hasta 3 y 3,5 metros de desarrollo a partir de la superficie. La red de fisuras se hace aquí intrincada, como consecuencia de una desecación drástica y una fuerte descompensación tensional en los materiales marginales. Se instala así un sistema de conducciones internas tipo “piping” que terminan por comunicarse a poca distancia del lado externo del margen.

Los efectos diferenciales de la erosión fluvial han llevado a socavar las partes inferiores creando un saliente o cornisa. En este ejemplo concreto los salientes son producto de la mayor fuerza de tensión de las capas cohesivas superiores y el reforzamiento que ofrecen las raíces de algunas plantas (principalmente “agave americana” y “ficus opuntia”).

La “cornisa” crece proporcionalmente con el grado de socavamiento hasta un umbral límite para la estabilidad de fijación. A partir de aquí se verifica un derrumbamiento mecánico o quiebra por tensión, que depende de la geometría y peso de la cornisa. Dentro del período de análisis empleado, la observación del proceso completo sólo ha podido seguirse en microformas (bordes de estructuras laminares) y mesoformas de margen (escalones basales). Algunas de ellas son agregados procedentes del margen al que se adosan, presentando una profunda modificación en su textura. Sin embargo las distintas fases de evolución y los efectos morfológicos de estos procesos en los márgenes “s. str.” son fácilmente observables en numerosos puntos de las ramblas antes mencionadas. Hasta alcanzar el nivel de ruptura existe durante todas estas fases una estrecha relación entre el ritmo de retroceso de la parte superior del margen y el de socavamiento. En el intervalo 1982-1986 la erosión regresiva máxima del borde superior ha sido estimada para las estaciones 4B de la Rambla del Portús y 3C de Bocaoria entre 180 y 250 mm/año, ambos datos correspondientes a 1985.

La estabilidad de la cornisa se ha determinado mediante la teoría del “equilibrio estático”, que permite conocer el potencial de ruptura por tensión y desecación. Por este mismo procedimiento, en condiciones litológicas y estructurales homogéneas, THORNE y TOVEY (1981) sitúan el espesor máximo de la cornisa de fijación en torno al 10 por ciento de la altura del margen. Tales premisas se dan de forma relativa en los tramos medios de la Rambla de Bocaoria y Portús, pero en ningún caso en los sectores de la Rambla de la Murta que conservan un potente encostramiento superficial, ni tampoco en los tramos bajos cerca de sus desembocaduras donde la anchura límite del saliente puede llegar a superar el 35 por ciento.

Después del resquebrajamiento los bloques caídos se posan en el lecho al pie del margen, dando origen a amontonamientos conoidales, coalescentes o no, cuando se trata de series limo-arenosas (Rambla del Portús, estación 4A), y taludes cohesivos, cuando se desprenden fragmentos encostrados singularmente resistentes a la acción hidráulica. En ambos casos, sobre todo en el segundo, se forma un “micropiedemonte” que protege la parte inferior de gravas y arenas frente a la erosión fluvial, reduciendo sustancialmente el grado de socavamiento. Asimismo, el retroceso del margen en estos puntos durante el período 1982-1986 ha sido cifrado en 420 mm y 92 mm respectivamente, aunque el mecanismo de fragmentación dominante no fue de naturaleza fluvial. Dichos datos no deben considerarse si no es refiriéndolos a períodos observacionales más amplios, puesto que el retroceso del margen 4A se produce espasmódicamente en octubre de 1982 y febrero de 1985, con motivo de dos caídas en bloque cuyo proceso completo abarcaría presumiblemente un período de mayor duración.

Los procesos de erosión en los márgenes de estas ramblas pueden dividirse en dos grandes grupos: efectos de arrastre fluvio-torrencial y procesos de desgaste y debilitamiento del margen.

a) *Efectos de los arrastres fluvio-torrenciales*

En el transcurso de grandes avenidas el flujo torrencial que recorre las ramblas del Campo de Cartagena rompe el equilibrio de tensión del margen en momentos muy distintos, si bien el contraste podría acentuarse de no ser por la influencia de determinadas características morfológicas de algunas ramblas prelitorales (geometría de los cauces, escasas pendientes del lecho en sus tramos medio y bajo...) En cualquier caso, esta corriente esporádica genera dentro del cauce una tensión de “corte” (“shear stress”) en el lecho y en los márgenes. La magnitud de esta tensión es directamente proporcional a los índices de energía (a) y velocidad (v) en el contacto con el límite del margen. Para permanecer en equilibrio, el material del citado límite debe facilitar internamente la oposición a una tensión de “corte” derivada, igual y opuesta (THORNE, 1982).

En varias estaciones se han determinado experimentalmente las circunstancias hidráulicas en que se produce el “momento de equilibrio” (T_{eq}). Cuando por alguna razón aumenta el índice de velocidad, eventualmente se alcanza un punto en el que la resistencia al movimiento por parte del material marginal es equilibrada por la tensión de corte del fluido. Si continúa aumentando la tensión de la corriente superficial comienza entonces el proceso de arrastre que hemos denominado “fluvio-torrencial”.

En la Rambla de Bocaoria el “momento de equilibrio” (T_{eq}), calculado para materiales límite predominantemente arenosos, no cementados, es rebasado al sobrevenir descargas medias $\sim 4 \text{ m}^3/\text{s}$ y v marginales específicas $\sim 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$. Para limos y gravas sin matriz el “desequilibrio” se presenta en el umbral v marginal $0,08 \text{ m/s}$ ó $0,1 \text{ m/s}$. Finalmente, para depósitos cementados no cohesivos dicho límite se sitúa en $V_{mg} \sim 0,2 \text{ m/s}$.

– *Erosión de materiales no coherentes*

La escasa coherencia de los materiales del margen es una variable presente en más del 75 por ciento de la longitud de los talwegs existentes en el área de estudio. Quizá por ello, la morfología de ciertos sectores introduce una nota de fragilidad en el paisaje y acusa los riesgos propios de un medio semiárido.

Si se desciende a una descripción del mecanismo con detalle, en el caso de estos materiales no coherentes, es sabido que los granos individuales son arrastrados por giro y rodamiento o deslizamiento. La estabilidad de un grano superficial puede evaluarse por

resolución de las fuerzas que actúan dentro de las que tienden a causar movimiento y las que se oponen a él. Este planteamiento fue adoptado por LANE (1955) al proponer el método de diseño de la "Fuerza de Tracción" PARKER (1979), en su trabajo "Hydraulic geometry of active gravel rivers" mostró que el método no puede aplicarse a corrientes con lechos de grava que tienen una carga importante. Como la mayoría de nuestras ramblas, en las que la estabilidad del margen es problemática, tienen una carga de lecho apreciable, el planteamiento de LANE es prácticamente inaplicable.

Estudios más recientes (THORNE, LITTLE y MURPHEY, 1981; THORNE, 1982) coinciden en utilizar los datos de campo en ecuaciones que expresen los ángulos de fricción o la tensión de corte de fluido. En tal sentido, la ecuación propuesta por el "Task Committee on Sedimentation" 1966, ilustra algunos puntos básicos referidos a la erosión fluvial de materiales de margen no coherentes:

$$\tan \theta = \frac{F_1}{F_2} = \left(\frac{C_2^2 t_c^2 d_s^4 + W_s \sin^2 \phi + 2 C_2 t_c d_s^2 W_s \sin \phi \sin \alpha^{0.5}}{W_s \cos \phi} \right)$$

F_1 es la fuerza de perturbación; F_2 , la fuerza de restitución; C_2 , un área constante efectiva; t_c , tensión de corte del límite crítico; d_s , tamaño del grano; W_s , peso del grano sumergido; ϕ , ángulo de margen; α , ángulo de corriente respecto al flujo longitudinal y θ , ángulo de fricción.

El cálculo de la tensión de corte se efectúa a través de la ecuación de COULOMB revisada por TERZAGHI (1943) y TERZAGHI y PECK (1948):

$$t_c = \frac{s + (\tan \phi' \cdot u)}{\tan \phi'}$$

donde u = presión higroscópica de los poros; s = energía de "corte" y ϕ' = ángulo aparente de fricción interna.

Salvo " t_c " y " θ ", los demás parámetros han sido obtenidos mediante observación directa en tres estaciones experimentales: Rambla de la Murta 1B, Rambla de Bocaoria 3C y Rambla de Benipila 5C (Cuadro 13).

Cuadro 13
Datos experimentales para la determinación de " t_c " y " θ ". Estaciones 1B, 3C y 5C (R. unidades sistema mKs.).

a) Cálculo de T_c

Rambla	Estación	Fecha	θ'	$\tan \phi'$	s	u	$V_{\text{máx.}}$	t_c
La Murta	1B	21-II-85	31°	0,529	5,8	0,30	0,8	11,2
Bocaoria	3C	21-II-85	21°	0,342	6,5	0,07	1,2	19,3
Benipila	5C	X-82	25°	0,414	6,0	0,05	1,0	14,8

b) Cálculo de $\text{Tan}\theta$

Rambla	Estación	Fecha	c_2	d_s	W_s	$\text{Sen}\varphi$	$\text{Cos}\varphi$	$\text{Sen}\alpha$	t_c	$\text{Tan}\theta$
La Murta	1B	21-II-85	10	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,30	0,707	0,707	0,423	11,2	0,861
				$6,0 \cdot 10^{-3}$	0,01					0,845
Bocaoria	3C	21-II-85	10	$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,35	0,530	0,848	0,500	19,3	0,574
				$8,0 \cdot 10^{-3}$	0,02					0,609
Benipila	5C	X-82	10	$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,35	0,588	0,809	0,375	14,8	0,657
				$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,01					0,652

Ángulos de fricción:

E-1B	40,7° (d_s)	15 mm)
	40,2° (d_s)	6 mm)
E-3C	29,8° (d_s)	20 mm)
	31,3° (d_s)	8 mm)
E-5C	33,3° (d_s)	20 mm)
	33,1° (d_s)	5 mm)

La variable " t_c " presenta valores relativamente significativos en comparación con los resultados expuestos en otros estudios (BISHOP, 1960; AJAZ y PARRY, 1974).

La estación 3C de la Rambla de Bocaoria, a pesar de aplicársele el ángulo q' más bajo de los tres puntos analizados, arroja el valor más elevado de t_c (19,3 pascales), al registrar la mayor velocidad instantánea (1,2 m/s) y marginal (0,2 m/s). Los valores t_c obtenidos son bastante diferentes a causa de la variabilidad de las velocidades máximas observadas. En relación directa con éste y el resto de factores hidráulicos, la tensión crítica de corte fluctúa entre 11 y 20 pascales, siendo la presión del agua en los poros del parámetro cuantitativamente menos relevante. Por lo general, en estos materiales no cohesivos pueden producirse tensiones del límite de corte superiores a 40 pascales bajo velocidades de corriente de más de 2,5 metros por segundo (m/s¹).

Para un mismo área efectiva (10 m^2) y granos de arena gruesa y gravas, la tensión de corte ha supuesto una influencia decisiva en los términos de la ecuación de θ . Con ángulos $\varphi = 45^\circ$, $\alpha = 25^\circ$ ($\text{sen } \varphi = 0,707$ y $\text{sen } \alpha = 0,423$), la estación 1B representa, gracias a su t_c , corrientes con un importante ángulo de fricción en épocas de avenidas. Calculado empíricamente este ángulo (40,7°) supone 10° más que el ángulo de fricción interna aparente, por lo que se infiere una particular significación de las variables C_2 , d_s y W_s , dentro del análisis de la fuerza de perturbación (F_1).

Las estaciones 3C (tramo medio de la Rambla de Bocaoria) y 5C (Rambla de Benipila) han dado como resultado valores $\theta = 29,8$ y 33,3 respectivamente, datos que están en concordancia con los ángulos de margen y de corriente más que con la tensión de corte o la relativa similitud de los valores que adoptan d_s , W_s y u .

En ésta y en otras ecuaciones similares desarrolladas por SUNDBORG (1956) se omite

el parámetro “fuerza de empuje del fluido”. Sin embargo, esta variable, considerada como la diferencia de velocidad de la corriente encima y debajo de las partículas transportadas, puede estimarse en torno al 80 por ciento de la magnitud de la fuerza de corte del fluido (LELIAVSKY, 1966; GRAF, 1971; YALIN, 1977; PARKER, 1979).

En términos prácticos los efectos de empuje están implícitos en los coeficientes empíricos de la ecuación del ángulo de fricción antes apuntado, manteniendo una estrecha relación con la intensidad de relleno de los granos, de forma que la magnitud de las tensiones de carga instantánea en las fechas indicadas se cifraría en 9 (1B), 15,4 (3C) y 11,8 pascales (5C). Estos coeficientes son susceptibles de incrementarse aproximadamente en un 4 por ciento al incorporar factores como la pendiente de talweg y la curva de remanso, ambos incluidos en la ecuación de YEN (1975). Pero, al mismo tiempo, pueden fluctuar sensiblemente en la medida en que se consideren distribuciones distintas en relación con el grado de tensión de corte o las dimensiones de las partículas.

Independientemente de la energía de carga, los datos expresados en el cuadro revelan, para estos casos concretos, un estado de inestabilidad crítica del margen. En ningún modo estas condiciones son extrapolables al resto de las estaciones; aunque sí ofrecen claro testimonio de la fragilidad paisajística que subyace en este tipo de morfología, singularmente dinámica en las vertientes meridionales de las sierras costeras.

– Erosión de sedimentos cohesivos

Los mecanismos de erosión fluvial en materiales de margen cohesivos no han sido suficientemente estudiados. Hasta ahora, gran parte de las investigaciones desarrolladas en este sentido se deben al Task Committee on Sedimentation (1966, 1968) o a los trabajos particulares de WOLMAN (1955) (“factors influencing the erosion of cohesive river bank”); BRYAN (1977) y MILHOUS (1982). La mayor parte de estos estudios tratan de dar soluciones estocásticas o proponen modelos matemáticos para calcular la tensión crítica de tracción por arrastre, sin dedicar especial atención a la naturaleza mecánica de los sedimentos arrastrados o a sus mecanismos de ruptura durante la fase de socavado. Dichos aspectos los aborda GOSS (1973) en su artículo “Relation of physical and mineralogical properties to stream stability” y recientemente THORNE (1982) correlaciona la erosión fluvial del terreno cohesivo con la fragmentación de los depósitos aluviales.

Esta última circunstancia es perfectamente observable en las ramblas del Campo de Cartagena, cuya sección transversal aparece a veces compuesta por series de relleno pre-Villafranquienses coronadas por gruesos encostramientos superficiales o agregados de aluviones correspondientes a diversos rellenos cuaternarios. Con frecuencia, las partes altas de los márgenes aluviales se componen de capas altamente desecadas o fragmentos de dimensiones muy diversas. Las ramblas del Grupo Sur de Carrascoy, en particular las de Ros, Cobachos, Pestillo y La Murta, labran su cauce en series subhorizontales superpuestas de arcillas y arenas con intercalaciones de depósitos de gravas sin matriz, sobre las que se asientan niveles encostrados de origen morfológico o sedimentario.

En los lugares donde se conserva algún nivel de terraza aluvial la cohesión de los sedimentos es mayor, apreciándose deformaciones hidrolásticas que favorecen la ruptura desde la superficie. La drástica sequía estival conlleva procesos rápidos de contracción y desagregación que originan grietas de hasta 15 mm de anchura. Aunque los elementos internos de los agregados se hallan fuertemente adheridos, estas líneas de fragmentación están vacías o a lo sumo rellenas de arcillas y clastos, de forma que incluso en condiciones de baja tensión, este terreno puede comportarse como si estuviera constituido por sedimentos ligeramente cohesivos.

En las ramblas meridionales la erosión fluvial ha dejado al descubierto una potente costra caliza (0,35-1 metro) con cantos englobados en su base. Esta costra es la misma que se extiende en el Llano de Morales, Campillo de Adentro y Galifa, y que PAVILLON (1972) identifica como "superficies de costra superior y media". Alcanza su mayor espesor en el glacis de Las Ahueras-Torre Rubia (0,4-1,2 m), que atraviesa la Rambla de Peñas Blancas dando origen a "cortaduras" y "aleros" en la parte superior del margen (sectores de La Corona y Los Pinos).

En las vallonadas de los Barbastres, Horno Ciego y Los Mortericos la cohesión de estos niveles superiores aumenta, como consecuencia de encostramientos integrados por cantos de cuarcitas, mármoles y calizas recristalizadas. Sin embargo, la superposición alineada de estos cantos dentro de la matriz calcárea favorece el resquebrajamiento de los agregados, multiplicando las líneas de debilitación del depósito.

La erosión fluvial del terreno cohesivo a menudo tiene lugar por el arrastre de esos "agregados" dentríticos más que por el de las distintas partículas que lo componen (SUNDBORG, 1956; GRAF, 1971). Este no es el caso de algunos sectores puntuales, donde la costra aparece recubierta por depósitos coluviales que actúan a modo de protección y disminuyen considerablemente su potencial erosivo (Rambla de Cabezo Negro, al norte de la Morra de Arjona).

Otro tipo de fraccionamiento muy común en material cohesivo aluvial es el que se produce siguiendo los planos de contacto entre las diferentes facies sedimentarias. El cambio de estructura tabular a cruzada, unido al paso lateral de encostramiento a depósito dentrítico ligeramente cementado ha desencadenado importantes procesos de ruptura en los márgenes de las Ramblas de Torres y Peñas Blancas (fig. 40).

En los casos analizados (Estaciones 1D, 3D y 5C) la tensión crítica y la erosión parecen estar relacionados con la textura limoarcillosa y composición geoquímica de los materiales del margen, su balance R.A.S. como medida de dispersividad y los efectos de energía y arrastre de la corriente torrencial.

Cuadro 14

E	t_c crítica	A_f	R.A.S.	$V_{máx.i.}$	C_{h-d}
1D	13,2	5	5,1	0,9	6/año
3D	22,0	15	10,0	1,5	8/año
5C	14,8	10	6,0	1,0	9/año

A_f = % área con textura limoarcillosa.

R.A.S. = relación de adsorción de sodio.

$V_{máx.i.}$ = velocidad máxima instantánea (m/s^{-1}).

C_{h-d} = ciclos de humectación y desecación < 48 horas.

Según estos resultados, la tensión crítica de corte se muestra ligeramente más alta que la tcc media obtenida experimentalmente en la WES (Waterways Experiment Station) del "Army Corps of Engineers" de EEUU. Basado en la observación de 22 lugares, el estudio de la WES relaciona tensiones límite de corte de más de 20 pascales con velocidades de corriente superiores a los 1,5 m/s. En dos de las estaciones escogidas en el Campo de

Cartagena, el umbral límite $t_{cc} \sim 20$ pascales puede producirse bajo cargas de más de 1,3 m/s, quizá como consecuencia de la relativa importancia mineralógica de las arcillas dentro de los agregados aluviales y la frecuencia de ciclos rápidos de humectación-deseccación de los niveles superiores.

A falta de una teoría rigurosa sobre erosión fluvial de terrenos cohesivos, estos planteamientos, adoptados con éxito por GRISSINGER et al. (1981), pueden representar una respuesta adecuada para este área.

b) *Procesos de desgaste y debilitación del margen*

Quizá sean éstos los procesos menos conocidos por la esporádica observancia de sus efectos. Su efectividad está directamente asociada con el contenido de humedad del suelo y el ritmo de su desecación en materiales compactos o agregados aluviales. Comúnmente se agrupan en dos tipos; los que actúan desde el interior del margen, reduciendo su oposición mecánica; y los superficiales, a los que se debe la segregación de las partículas y cuerpos sedimentarios superiores.

– Debilitación interna del margen

Dentro de los procesos hidráulicos, las corrientes secundarias en momentos de escorrentía torrencial llegan a deformar sustancialmente las distribuciones de la velocidad primaria y la fuerza del límite de “corte” del fluido, contribuyendo a modificar el margen interno de estas ramblas o a influir en los procesos sedimentarios.



Fig. 40.- Planos de desagregación de materiales aluviales cohesivos por tensión diferencial; margen de la Rambla de Torres

Cuando las ramblas funcionan torrencialmente, durante el arroyamiento e inmediatamente después de él, la presión del agua en los poros debilitan el margen, restándole consistencia. Esto ocurre muy singularmente en los márgenes excavados en arcillas (Rambla del Portús) o sedimentos aluviales finos (arenas, gravillas) (Rambla Campillo de Adentro). En general tiene mayor importancia en los materiales no coherentes, alcanzando su estadio crítico en condiciones de precipitación abundante, prolongada y arrastre rápido después de una fuerte corriente. En estas circunstancias, en la estación IB la presión del agua en los huecos puede ser mayor de 0,3 pascales, proporción que comunica a la tensión de corte y contrarresta a la fuerza del margen. Incluso en el caso de 3C y 5C donde se ejercen presiones intersticiales poco significativas ($<0,1$ pascal), la estabilidad del margen, una vez humectado, es reducida debido a la disminución de la fuerza en los materiales y al aumento del grado de saturación.

Los ciclos de humedad y sequedad son además extremadamente importantes, puesto que provocan mecanismos rápidos de distensión y contracción del terreno. En sedimentos aluviales cohesivos los ciclos de humedad-sequedad de corta duración (inferiores a 48 horas) tienen una frecuencia media de 8 a 9 por año en los márgenes de las ramblas meridionales y en torno a 6/año en las de la Sierra de Carrascoy. Ello origina una textura amazacotada con grietas intermedias, hendiduras de desecación, con arrastre de suelo pendiente abajo. Los bloques resultantes tienen por lo general espesores del orden de 0,4 a 1 m., presentando con frecuencia fisuras ciegas que apenas llegan a los 20 cm de longitud.

Los cambios bruscos de temperatura y humedad intersticial son los principales responsables del inicio de mecanismos de separación de unidades de suelo y desequilibrio de los materiales del margen. Sin duda, las fluctuaciones más comunes son las que experimenta el contenido de humedad en los poros de la masa arcillosa próxima a la superficie. Según se ha comprobado experimentalmente, partiendo del estado de saturación en los suelos arcillosos, una temperatura ambiental superior a 20° , acompañada de vientos racheados fuertes, puede ocasionar superficialmente una pérdida hídrica total en menos de 15 horas. Este puede ser un hecho muy común en las Ramblas de la Carrasquilla, del Llano y del Albujón cuando soplan vientos de Levante a finales del verano y en otoño.

La congelación del agua en los poros, grietas y fisuras, que pudiera tener efectos extraordinariamente importantes sobre la parte interna del margen, no se produce más que en muy contadas ocasiones en las ramblas noroccidentales de la comarca, por encima de los 700 metros: tramos altos de las Ramblas Cueva del Marqués, Pestillo, La Murta y El Ciprés. Su influencia se hace notar durante algunos inviernos excepcionalmente fríos como el de 1983, en el que se registraron temperaturas mínimas absolutas por debajo de 0° C varios días consecutivos. La consecuencia más destacada es una debilitación del terreno por reducción granular entrelazada y, por consiguiente, del ángulo de fricción y, además, por destrucción de algún nexo entre-partículas. la relajación del lecho normal y la presión de los sedimentos laterales pueden tener efectos similares en caso de arroyada.

Por las características hidrológicas de estas ramblas y la frecuente presencia de materiales finos (arenas, limos, arcillas), destacan como principales factores de las modificaciones morfológicas del margen la energía específica y la cantidad de movimiento impuestas por las aguas de avenida. Sus efectos más notorios son el aumento de la plasticidad y la lixiviación.

El reblandecimiento de limos y arcillas suele producirse desde la superficie hacia el interior de los agregados, a través de hendiduras cuyas paredes mollea el agua lentamente. De esta forma, los bloques arcillosos consiguen juntarse formando un cuerpo extremadamente plástico y deleznable. La primera circulación del agua a través de las grietas, después de un período seco, tiene un efecto de humedecimiento de las partículas superficiales. El

empapado y por tanto el reblandecimiento de los sedimentos internos sobrevienen con circulaciones lentas en sentido vertical y lateral. En terrenos arcillosos fisurados, como lo son particularmente algunos tramos de las Ramblas de Benipila, Peñas Blancas y del Talego, la cohesión de arcillas de distintos bloques puede anularse efectivamente por estos procesos, de manera que el suelo se comporta como un material suelto e inestable.

Con la lixiviación las arcillas sufren un desplazamiento por solución o suspensión, lo que debilita el material del margen al reducir su cohesión. Los coeficientes máximos de energía y movimiento obtenidos en varios puntos del control durante la crecida del 21 de febrero de 1985 (cuadro 13) (1,55 y 1,20 respectivamente) pueden asociarse con un socavado en lámina uniforme para la profundidad media de la corriente del orden de 8-15 mm, lo que supone una alimentación de arrastre en torno a 5,2 - 9,8 dm³ por m² de área efectiva. El efecto es singularmente apreciable en terrenos compuestos de limos y partículas de arenas cementadas con un revestimiento superficial de arcillas. El lavado de estas arcillas puede desencadenar la pérdida casi total de la resistencia del agregado franco-arenoso.

- Erosión superficial

La lámina superficial de un cuerpo de arcilla totalmente seco es fácilmente erosionable tras su inmersión rápida en el agua. La saturación de la capa externa contrasta con la retención de aire en el interior, cuya presión puede provocar una ruptura a lo largo de la superficie normal.

El arroyamiento superficial origina procesos de erosión de cobertera ("rilling" y "gulle-ying", THORNE, 1982) que, unidos a los de arrastre fluvial, multiplican el número de partículas transportables. Los impactos de las gotas de lluvia en el suelo y la acción de los pequeños canalillos de agua pueden separar las partículas superficiales y conducir las pendiente abajo al pie de los márgenes.

La importancia de estos procesos de erosión de superficie dependen sobre todo de la naturaleza y densidad de la cobertera vegetal de los márgenes. CARSON Y KIRKBY (1972), KIRKBY y MORGAN (1980) establecen varios órdenes de magnitud en relación con la influencia de la vegetación en los índices de erosión superficial.

En la mayor parte de las ramblas cartageneras el límite superior del margen ha sido desprovisto de su vegetación natural con el fin de utilizar el máximo de tierra para cultivos agrícolas. Junto a la Rambla del Cabezo Negro, a su paso por Galifa, o a lo largo de ramblas que atraviesan el terrazgo de secano de Fuente-Alamo y Corvera, el espacio colindante con la línea de margen es terreno en barbecho, de suelo suelto o dedicado a especies arbóreas esparcidas que tienen efectos de fijación muy puntuales.

En los sectores de regadío sin protección especial (Rambla del Albuñón, en Torre Pacheco) la plantación de cultivos hortícolas proporciona un índice de conservación del suelo tres veces inferior al que existiría con matorrales y erial (CONESA, 1984); no obstante, en este caso, la erosión es muy reducida debido a factores esencialmente topográficos.

La acción de estos procesos se encuentra también aminorada por defensas artificiales, muros de revestimiento que reducen sensiblemente la erosión superficial, de tal modo que en lugares de mayor estabilidad no se observa retroceso del margen desde hace más de cuarenta años.

2.3. Tipos de ruptura

La ruptura y desprendimiento de bloques después de un ahuecamiento basal o una

debilitación del margen es la consecuencia inmediata de los procesos anteriormente descritos. La mecánica de fragmentación y disgregación por tensión diferencial es muy distinta según el tipo de materiales afectados, estructuras sedimentarias y geometría del cauce. De acuerdo con ello, en el Campo de Cartagena se distinguen cuatro modalidades de ruptura: en sedimentos “finos” no fluviales, no cohesivos fluviales, compactos coluviales y mixtos, compuestos por agregados duros (costras, conglomerados) y depósitos no cohesivos.

a) *En márgenes con sedimentos “finos”*

Se observan en algunos cauces de edad Würm y Holocena, labrados sobre los glaciares de acumulación de la cuenca del Mar Menor y de la Pinilla. Las Ramblas del Llano del Beal, de las Caveas y de la Azohía brindan ejemplos muy ilustrativos. También son constatables en cauces recientemente modificados, adentrados en cuña en formaciones de deslizamientos de laderas (Rambla de Bocaoria, frente al Puntal de la Azohía; Ramblas de la Muela y Escarihuela, tributarios de la Rambla del Portús).

Los sedimentos son principalmente limos y arcillas, hecho que favorece fenómenos de ruptura por licuefacción. Se trata de mecanismos bastante complejos que resultan de una pérdida total de fuerza en condiciones de sobresaturación. En estas circunstancias, la ruptura tiene lugar por el desalojo de granos individuales desde la superficie del margen o por deslizamiento superficial, en masa, a lo largo de un plano ligeramente curvado. El movimiento de la capa humedecida se verifica sobre una superficie cóncava del margen, actuando en la dirección del flujo local de agua infiltrada y en virtud del peso unitario de la arcilla reblandecida sobre la pendiente. Este proceso se describe con detalle en el modelo general de vertientes de CARSON y KIRKBY (1972).

Dichos derrumbes planares poco profundos dejan al descubierto áreas desnudas, biseladas a lo largo del contacto entre la regolita y los sedimentos sin intemperismo, que pueden ser el punto de inicio de remociones más rápidas de material. El volumen de denudación debido a estos derrumbes es singularmente importante en corrientes torrenciales, pudiendo significar una erosionabilidad 35 veces superior a la que se produciría por procesos pluviales sin arroyamiento.

Las rupturas profundas son poco probables en estos márgenes, dado el desajuste entre los incrementos de fuerza y tensión de corte, y la menor progresión de ésta con la profundidad.

La debilitación del margen por procesos de desgaste pueden reducir el ángulo de fricción, situándolo incluso por debajo del ángulo de pendiente. Esta reducción aparece sobre todo cuando, después de sucesivas caídas de material, éste se concentra en torno a una línea para formar un cono de residuos de ángulo bajo acumulado en su base. Estos depósitos, muy comunes en las ramblas estudiadas, tiene una estructura más granular que la originaria del margen, además de una gran fricción superficial. El ángulo de fricción aumenta sólo cuando las partículas han experimentado una fuerte imbricación en el interior del depósito y éste tiene una pendiente normal abrupta. Pero lo más corriente es que disminuya, acelerando el debilitamiento del nuevo frente de margen. Las diferencias más notorias del ángulo de fricción se observan entre los materiales del margen y los del cono resultante, pasando en una misma estación (E-4C) de 40° en los primeros a 17-26° en la formación de residuos (fig. 41).

Unas veces, el “desleimiento” de la parte superior supone una destrucción de agregados más compactos debido a la compresión del aire en el suelo seco delante del frente de humectación. Otras, el ángulo de fricción interna en los horizontes superiores es más elevado que el ángulo de margen a causa de la erosión basal y rupturas por deslizamiento.

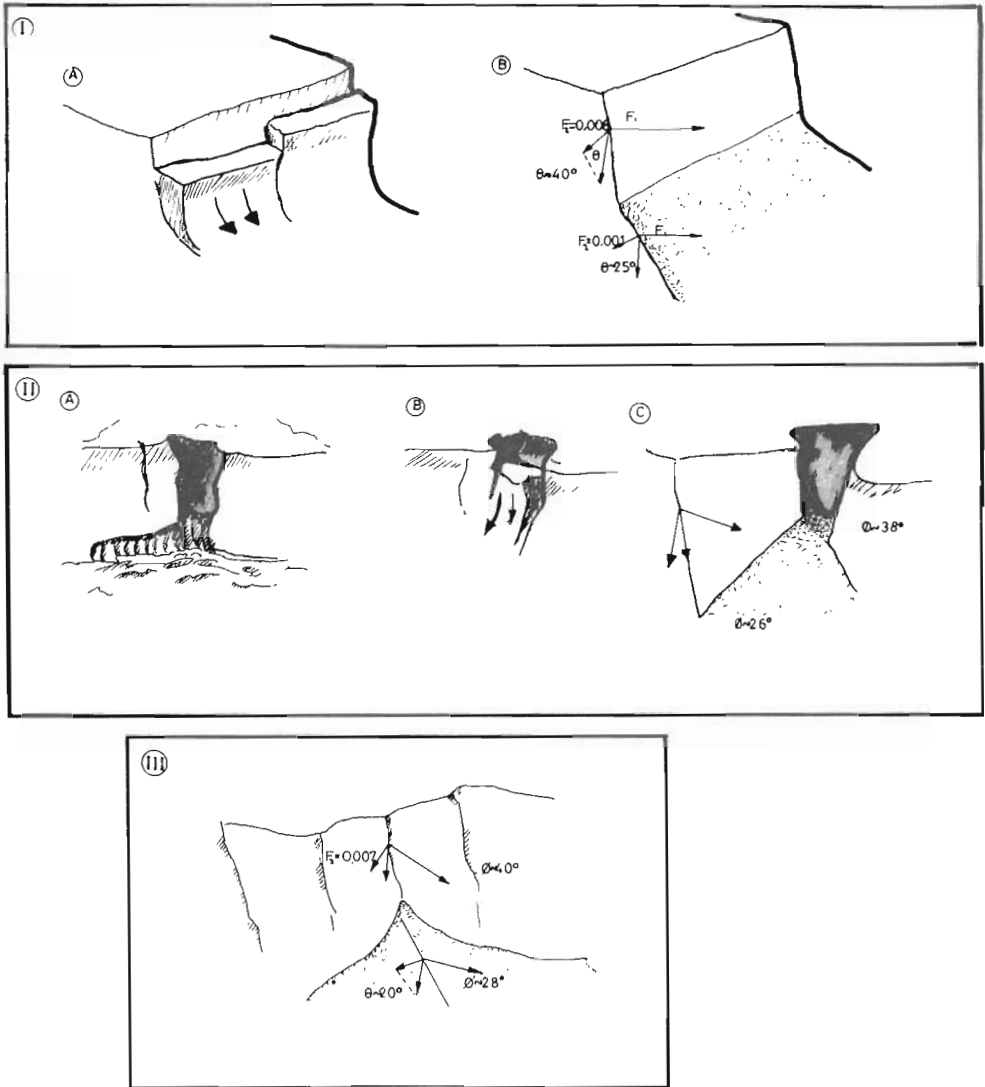


Fig. 41.- Angulos de fricción en limos y arcillas, medidos antes y después del derrumbe sobre el margen primitivo y los depositos basales. Estación 4C (Cuenca de la Rambla del Portús)

b) *En sedimentos no cohesivos fluviales*

Son muy comunes en márgenes de ramblas que diseccionan los conos aluviales de Campillo de Adentro y del Portús, así como en niveles de terrazas muy recientes. También pueden constatare en las partes altas de los abanicos del Grupo Sur de Carrascoy, desprovistas de costra superficial.

La proporción de arena en los márgenes de la Rambla de Bocaoria y del Portús es muy

variable puesto que alterna con capas predominantes en limos y arcillas. Aguas arriba del Puente del Badén (Cuenca del Campillo) tiene una representación clara, llegando a constituir en la E-3C más del 65 por ciento del total de sedimentos. Estos agregados arenosos son más fácilmente erosionables, por efecto de la lluvia, que los suelos arcillosos. El alto porcentaje de arenas finas (0,06-0,5 mm) (68 por ciento de la fracción arenosa) es un buen índice de erosionabilidad (BRYAN, 1974). La presencia de coloides y de sesquióxidos de hierro y aluminio queda muy reducida y la retención de partículas por secreciones de raíces es casi inexistente.

En gran parte del recorrido de estas ramblas y muy particularmente en sus tramos medios, donde la incisión es más profunda, las arenas que aparecen en la base del margen se disponen generalmente en capas laminares y lantejones, en forma de cúmulos migajosos.

Las experiencias realizadas con 46 muestras granulométricas correspondientes a 10 estaciones ubicadas en 6 ramblas distintas (fig. 39) prueban que los agregados arenosos y franco-arcillo-arenosos se erosionan con relativa facilidad a partir de velocidades de corriente de más de 0,2 m/s.

En estas condiciones la ruptura tiene lugar por el impacto cinético del agua en las partículas superficiales, lo que provoca una erosión selectiva repetible a lo largo del proceso. El desgaste de los cuerpos arenosos reduce el ángulo de fricción a mayor ritmo que en las arcillas, hecho que al producirse normalmente en el asiento del lecho aluvial suele causar rupturas "derivadas" en los terrones suprayacentes.

Cuando no existe la acción de empuje de la corriente, el debilitamiento sobreviene sólo si el material está completamente seco o saturado. El grado de erosión en la E-3C (Bocao-ria), con agua estancada, es 100 veces inferior al originado como promedio en corrientes de velocidades marginales de 0,2 m/s.

En caso de que únicamente intervengan efectos pluviales, la mecánica de ruptura es similar a la ya expuesta, con la salvedad de que la inestabilidad puede derivar de un aumento de la presión del agua contenida en los poros, circunstancia que parece tener especial significación al pie de márgenes altos (ápice de la Rambla de Cueva del Marqués, Rambla de la Murta) o en las pendientes laterales después de fuertes aguaceros.

c) *En materiales compactos y coherentes*

- Coluviales

Tienen una representación muy local en los tramos altos de algunas ramblas interiores (Puntalico, Loberas, Cabezo Negro) y en sectores abarrancados al pie de la vertiente Sur de las sierras costeras (Rambla del Bolete, Barranco del Morteral, Fatares, Gorguel).

Los agregados de estos depósitos de ladera sellan otros de tipo fluvial (Rambla Cueva del Marqués, frente al Aguilón) o la superficie misma de la roca madre, materiales carbonatados y pizarrosos del Complejo Ballabona Cucharón de Carrascoy (Puntalico), dolomías negras y calizas duras del Manto Alpujárride Superior costero (Bolete, Morteral...). En el primer caso, los aglomerados poseen una gran variedad litológica, con cantos de cuarcitas, dolomías, pizarras, filitas y metabasitas. En el segundo abundan los fragmentos calcáreos acompañados de cuarcitas y calcoesquistos.

La presencia de grandes bloques, sobre todo en las formaciones costeras al pie de fuertes pendientes, prueba que el desarrollo de deposiciones gravitatorias ha sido mucho más intenso que el de deslizamiento, a diferencia de las vertientes regularmente convexas como la orientada hacia Cala Salitrona. No obstante, la estabilidad de los depósitos coluviales en

el nivel de base se afianza por la acción de los coloides de la matriz al retener firmemente los cationes divalentes de calcio.

El mecanismo de ruptura más frecuente en márgenes excavados sobre estos sedimentos aparece como una dislocación de fondo profunda. En opinión de TAYLOR (1948), CARSON y KIRKBY (1972) fenómenos de esta naturaleza pueden deberse a que la fuerza de corte en materiales de cierta compactación aumenta con la profundidad menos rápidamente que lo hace la tensión de corte. A pesar de ello, no hay que descartar la importancia de grietas subsuperficiales orientadas según los ángulos de fricción y que suelen estar relacionadas con fuertes variaciones en la distribución de tamaños de los cantos.

En contraste con los márgenes no cohesivos, donde la estabilidad es independiente de la altura, el debilitamiento y fragmentación de estos aglomerados mantienen estrecha correspondencia con su espesor y ángulo de margen.

– *Aluviones conexos*

Propios de niveles de terrazas endurecidos (Ramblas del Puntalico, Cobachos, Valdelentisco, Bocaoria (3D)), constituyen márgenes menos erosionables que los anteriormente descritos.

La estabilidad de estos agregados se explica por el balance altamente positivo de la relación de fuerzas restitutivas y perturbadoras que actúan en la mayor parte de la superficie crítica de ruptura. Esta es plana en márgenes escarpados de poca altura (modelo de CULMANN) (Rambla del Valdelentisco, junto al Cabezo del Horno).

Los planos de ruptura profunda en márgenes altos con débil pendiente o con disminución del ángulo de fricción en dirección a la base parecen estar curvados, como se desprende de la forma de la superficie de fragmentación. El perfil de esta superficie suele ser hiperbólico, espiral logarítmico o en forma de arco (TERZAGHI y PECK, 1948).

Es difícil calcular la superficie afectada por el fraccionamiento, pero, en cambio pueden conocerse con relativo acierto los efectos de grietas y fisuras visibles sobre el terreno. Las grietas inherentes al suelo, como las fisuras interestructurales reconocidas en la Rambla de Cobachos, en las inmediaciones del Cabezo de la Pala, guardan gran relación en profundidad y disposición con los ángulos de fricción y de margen. Un ángulo $\theta > 40^\circ$, en combinación con una pendiente del agregado superior en torno a $45-40^\circ$ y grietas subparalelas y verticales, puede originar la caída de bloques paralelepípedos en condiciones de intenso drenaje.

Cuando el contenido en arcillas es alto (> 20 por ciento), la capacidad de contracción en período seco puede verse incrementada por el relajamiento, con pérdida de fuerza de tensión en la parte más alta y de mayor pendiente. Este mecanismo acelera la ruptura de terrones y porciones encostradas que se amontonan en la base, comportándose como unidades menos coherentes.

Las caídas de bloques a menudo se deben a movimientos gravitatorios sobre una superficie cóncava, en la que actúan fuerzas de empuje rotacional, o sobre un plano recto bastante inclinado.

La mecánica de ruptura por deslizamiento rotacional se complica en algunos puntos de las Ramblas de Cobachos y de La Murta, donde márgenes generalmente altos registran cambios bruscos de pendiente, siendo posible la formación de dos o más superficies de ruptura en función de los valores que adopta el ángulo de margen (fig. 42).

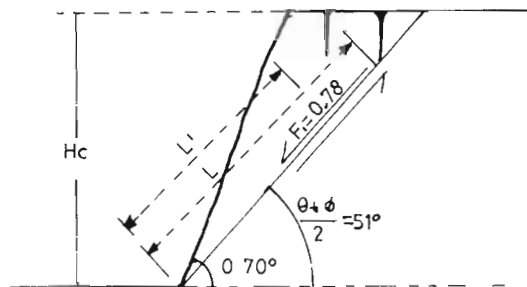
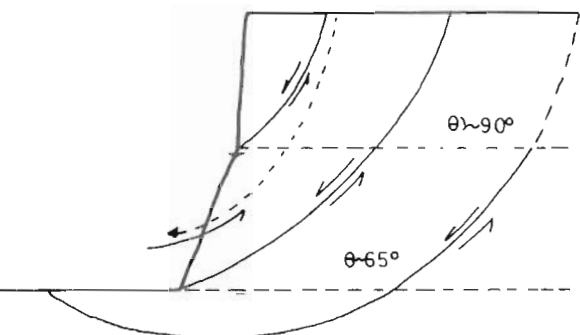
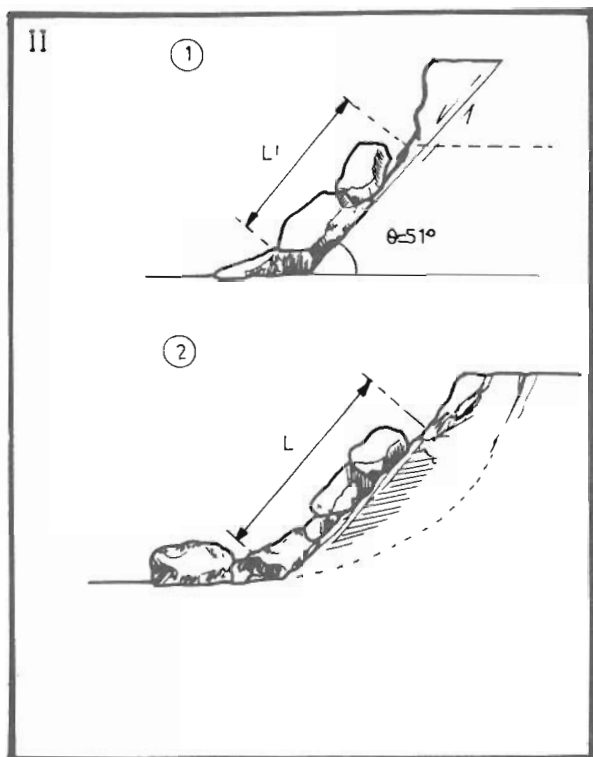
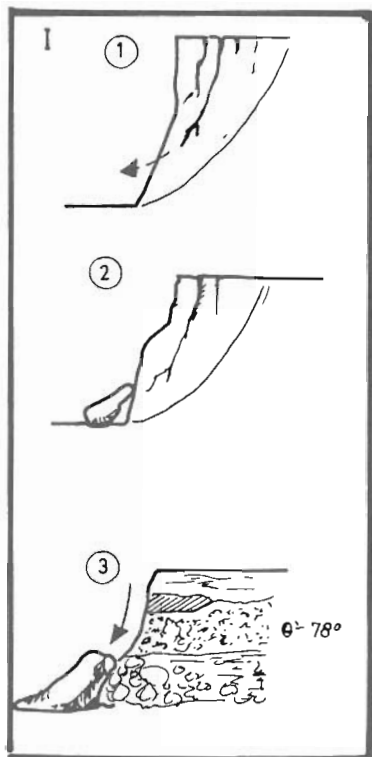


Fig. 42.- Ejemplos de deslizamiento y desprendimiento-caída
(I, Rambla de la Murta, Rambla de Cobachos)

d) *En márgenes mixtos o compuestos*

Constituyen la morfología más característica de los cursos fluviales de la comarca, alcanzando mayor representación en su intersección con los frentes distales de los abanicos aluviales de Carrascoy y en los sectores costeros donde los procesos de encostramiento sedimentario y edafogénico han tenido particular importancia.

Están formados por materiales cohesivos y no cohesivos dispuestos normalmente en capas sedimentarias discontinuas con estructuras dispares. En el caso de ramblas con lechos episódicos de inundación o planos aterrizados, los materiales no cohesivos constituyen depósitos de gravas y arenas de barras laterales poco maduras y el material coherente lo forman aluviones acumulados en cauces relictos o barras endurecidas por intemperismo.

La geometría más común del margen es un plano fuertemente inclinado o un alero de fijación transitoria. El frente de la cornisa tiene generalmente una forma quebrada, a diferencia del plano de base, unido al resto del margen por un dintel rebajado. Las facies sedimentarias más frecuentes están representadas por gravas imbricadas con arena intersticial, estructura laminar, cruzada, y limos intercalados en las dos terceras partes inferiores del margen y encostramientos o conglomerados en las capas altas. El plano de contacto de estos depósitos aparece normalmente bien definido, a través de un horizonte rico en concreciones pulverulentas de carbonato cálcico, limos grises y arenas.

El perfil escarpado de estos márgenes evoluciona hacia una pendiente de ángulo inverso que resta sujeción a la agregación coherente, favoreciendo los mecanismos de ruptura vertical y balanceo.

Los procesos de erosión y mecanismos de fraccionamiento en estos márgenes mixtos dependen básicamente de la naturaleza de sus sedimentos. La erosión superficial y su distribución en el margen son un índice para medir la resistencia a la ablación de los distintos cuerpos litológicos.

In situ la grava arenosa es más erosionable por procesos de arrastre fluviotorrencial y fragilidad subaérea del margen que la costra superficial y los conglomerados de las terrazas aluviales. La presencia de grava debajo de una capa encostrada conduce a la formación rápida de un cortado en profundidad. En el margen derecho de la Rambla de Torres, al Norte del Cabezo de la Yegua, el fenómeno reviste especial singularidad, puesto que las gravas, dispuestas en láminas horizontales, han retrocedido desde la base hasta la línea de contacto con el encostramiento, dejando en resalte una cornisa de más de 60 cm (fig. 40).

Aquí y en otros lugares donde se repite el proceso (Rambla de Peñas Blancas en el paraje de La Corona, Rambla de Horno Ciego, Rambla del Puntalico en el frente distal del abanico de Cobachos...) el mecanismo de ruptura de la capa cohesiva escarpada depende de su espesor y de la altura del margen.

La ruptura por deslizamiento rotacional es menos usual que en los márgenes totalmente coherentes. Sólo en sectores muy localizados donde existen márgenes compuestos excepcionalmente altos (>8 metros) y la capa de costra caliza adquiere considerable espesor (tramo medio de la Rambla de la Murta) el deslizamiento rotacional es probable. En este caso, los agregados arcillo-arenosos que subyacen a la costra dan al margen una base firme con respecto al desplazamiento del bloque fragmentado y la superficie crítica se sitúa encima o es tagencial al plano de contacto (fig. 42). La altura de la superficie de contacto está comprendida entre 5 y 7 metros, por lo que el volumen deslizable siempre se refiere a la parte alta, afectando entre el 10 y el 15 por ciento del área total del margen. No es posible por tanto una modificación profunda de la pendiente, al menos por erosión exclusiva de elementos coherentes.

En márgenes más bajos, con mayor variedad de facies granulométricas y grados de

cohesión (Rambla de Cabezo Negro), la(s) capa(s) intermedia(s) entre la costra y las gravas puede llegar a constituir una superficie de debilidad por reblandecimiento de sedimentos limo-arcillosos, hecho que altera el plano de ruptura crítica (fig. 42).

e) *Inestabilidad y equilibrio crítico en márgenes no cohesivos*

El desequilibrio y la fragilidad de los márgenes no coherentes descritos es una constante de la dinámica morfológica característica de este medio semiárido. La evaluación de la estabilidad de estos márgenes debe hacerse desde un punto de vista cuantitativo, distinguiendo entre condiciones drenadas y sin arroyamiento.

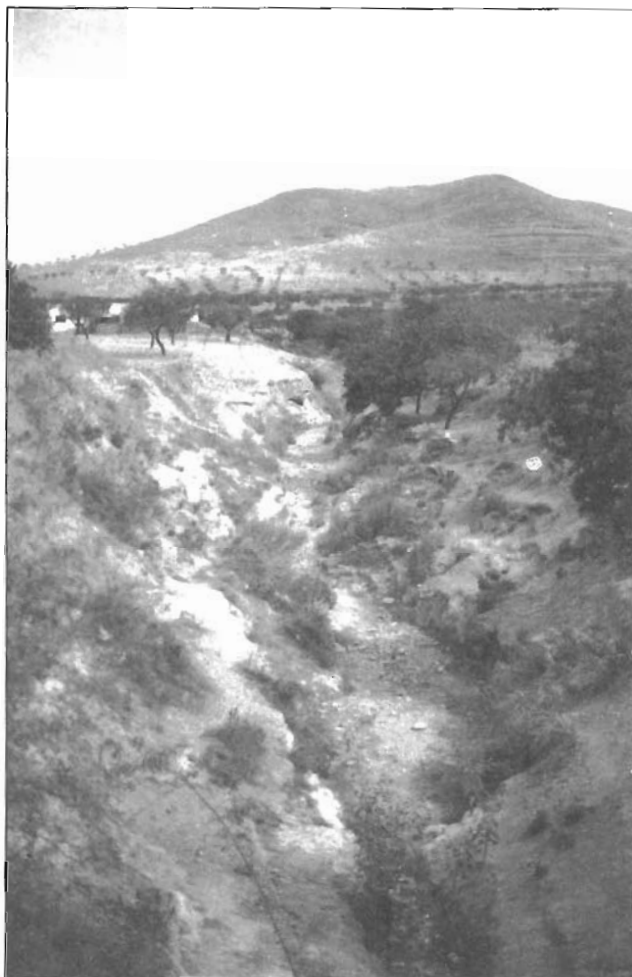


Fig. 43.- *Formas de erosión escalonadas en margen compuesto. Rambla de los Puertos (Cuenca de la Guía)*



Fig. - 44. *Margen compuesto por limos y costra calcárea. Rambla de los Puertos (Cuenca de la Guía)*



Fig. - 45. *Margen de tipo mixto con potente encostramiento superior. Rambla de las Torres*

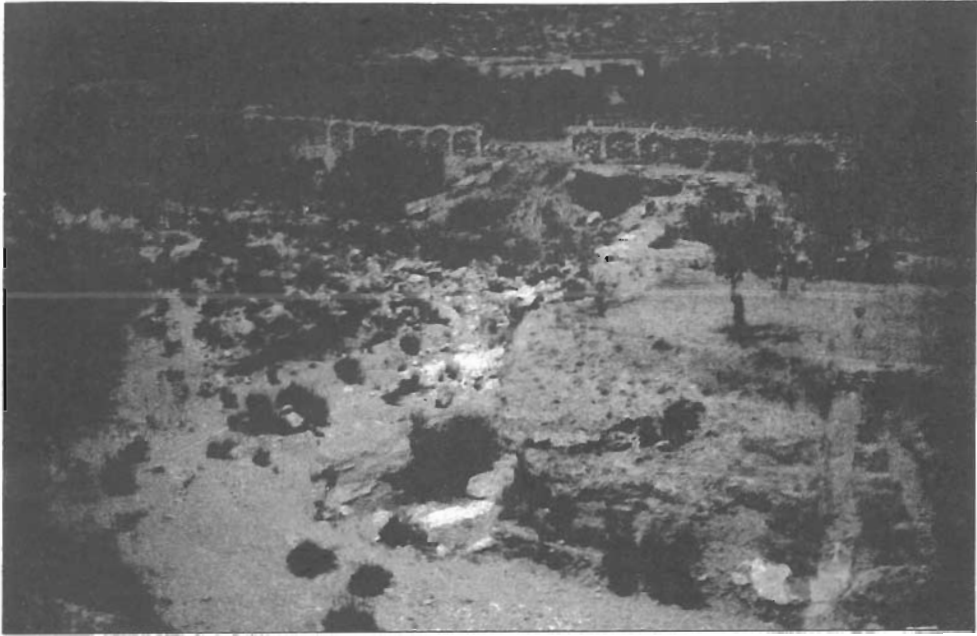


Fig. - 46. *Margen aluvial coherente en primer plano. Al fondo, margen compuesta con ruptura por deslizamiento rotacional. Los Albaladejos. Rambla de Peñas Blancas*

En condiciones drenadas, la estabilidad de un margen depende principalmente de la relación existente entre el ángulo de pendiente y el de fricción interna (TAYLOR, 1948). Ambos ángulos tienen en las ramblas del Campo de Cartagena valores singularmente altos llegando en muchos casos a superar los 80° de φ y los 70° de θ . Por citar algunos ejemplos, el tramo alto de la Rambla de la Azohía y la Rambla de la Carrasquilla a su paso por Los Belones presentan ángulos de margen del orden de 90° y alturas de más de 4 metros.

La ecuación que define el factor de seguridad,

$$F_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta}$$

aplicada a las estaciones 1B, 3C y 5C, da valores de $F_s = 1,18, 1,02$ y $1,11$, lo que permite calificarlas como márgenes de estabilidad restrictiva.

Si en una avenida, los márgenes no han sido completamente drenados, entonces la variable "presión del agua del poro" contenida en la expresión matemática puede ser significativa. La ecuación descrita en la obra de CARSON y KIRKBY (1972):

$$\tan \alpha = \frac{(\gamma z_p \cos^2 \varphi - u) \tan \theta'}{\gamma z_p \cos^2 \varphi}$$

donde γ = peso por unidad de masa del material de margen y z_p = profundidad vertical de la superficie de ruptura, ha sido empleada para calcular el ángulo de pendiente crítica de un margen en condiciones no drenadas.

En la estación 1B de la Rambla de la Murta basta una presión intersticial de 0,3 pascales para rebajar el ángulo límite de pendiente (α), situándolo ligeramente por debajo del ángulo de fricción. Este hecho puede deberse a los efectos de una tracción rápida hacia abajo a través de capas de arenas y gravas tan abundantes en este punto, además de la convergencia del ángulo de pendiente con la línea de filtración situada por encima y debajo de la superficie del agua.

En la parte sumergida, los efectos de corte de fluido y desgaste erosionan intensamente los terrenos limo-arenosos. Las fuerzas de arrastre y empuje fluviotorrencial, evaluadas según los términos de la ecuación en 9-15 pascales con motivo de la crecida de febrero de 1985, suponen una erosión de 7-10 dm³ por m² de área efectiva en arenas finas.

La mecánica de ruptura en condiciones no drenadas es similar a la de los márgenes sumergidos durante el período de aguas altas, con la única diferencia de que en estos últimos la inestabilidad puede venir provocada por un súbito aumento de la presión higroscópica de los sedimentos.

La alta presión del agua en conductos y grietas, además de la defloculación de las arcillas por cambios en el balance de cationes y concentración del fluido intersticial, conduce a fenómenos "piping". Estos se desarrollan especialmente en los altos márgenes arcillosos de las Ramblas de la Murta (1C), Bocaoria (3B), Portús (Escarihuelas) y Carrasquilla, pero también son constatables en márgenes compuestas (Ramblas de Peñas Blancas y Puntalico), caracterizados por la presencia de una parte baja limo-arcillosa y una potente costra superficial.

Lo más frecuente es que la tubificación se identifique con una erosión subsuperficial a base de canales abiertos que en ocasiones alcanzan 1 ó 2 metros de diámetro. A través de los "pipes" progresa la erosión fluvial, iniciando cárcavas laterales. Se observa, sobre todo en los márgenes exclusivamente arcillosos o con alguna proporción de limos y arenas, que el flujo en tuberías está en concordancia con la escorrentía en arroyuelos, después de un largo período árido. Este hecho es notorio en los cauces extremadamente secos de las ramblas meridionales, incluyendo las del Beal y Caveas, a pesar de su menor profundidad.

Un segundo mecanismo de entubamiento típico de estos márgenes se produce cuando la presión del agua de escorrentía que se infiltra hacia arriba a través del área basal vence el peso efectivo del material. La mecánica de este proceso de "piping" está ligada a excesos de presión hidrostática en la base del margen, por lo que el factor de seguridad puede considerarse aquí como la relación del peso efectivo con el exceso de carga hidráulica (TERZAGHI y PECK, 1948).

En la Rambla del Portús se reconocen grandes socavones basales continuados subsuperficialmente hacia arriba del margen en puntos de fuerte gradiente hidráulico, llegando a formar rasgaduras y cárcavas cuando tanto el principio como la parte final de los tubos se hallan en la superficie del mismo segmento de la pendiente. Otras veces, cuando la saturación es total los conductos de base tienden a provocar derrumbes por liquefacción, en lugar de convertirse en canales externos.

Las arcillas defloculadas (E-4C) se desplazan en suspensión a través de los poros de la parte saturada del margen, con velocidades del agua intersticial relativamente altas (50-3 cm/s) y un 8 por ciento de sodio intercambiable (compárense estos datos con los de pendientes de tubificación indicados por SHERARD, DUNNIGAN y DECKER, 1975). En algunos puntos de las Ramblas del Miedo, Ponce, Carrasquilla y Beal la dispersabilidad y el índice R.A.S. aumentan bastante como consecuencia de haber sido utilizadas para evacuar residuos

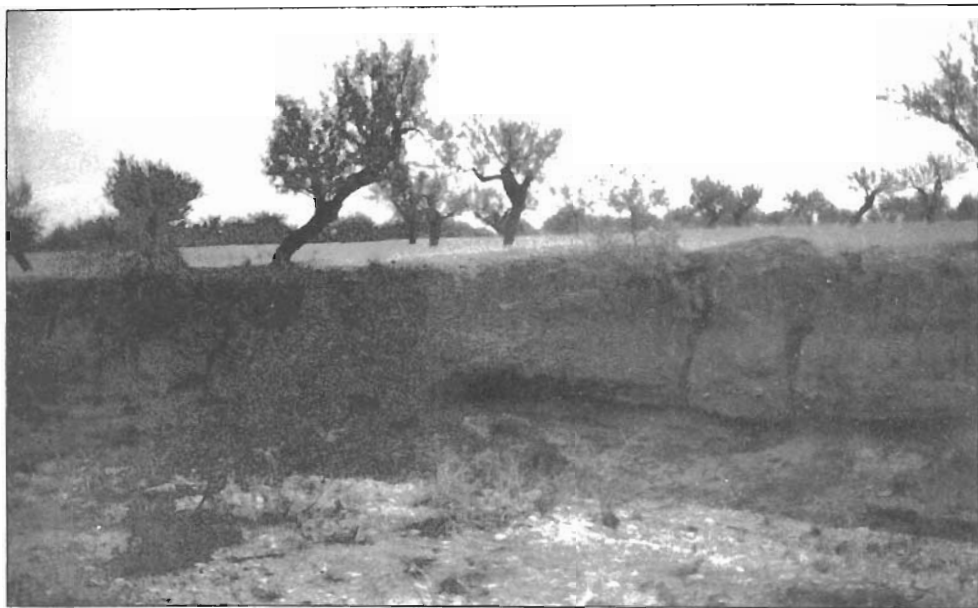


Fig. - 47. Socavación basal con rasgaduras y "pipes" hacia la parte alta del margen. *Rambla del Fraile*



Fig. - 48. Socavación ligada a excesos de presión hidroestática por efecto de las cimentaciones en la base de un margen limo-arcilloso. *Rambla de la Carrasquilla*



Fig. - 49. Derrumbes en margen no cohesivo de fuerte ángulo de fricción (m-iz)
(Rambla de Carrasquilla)



Fig. - 50. Ruptura profunda por efecto de descomposición tensional en los materiales marginales.
Rambla de Caveas (Tallante)

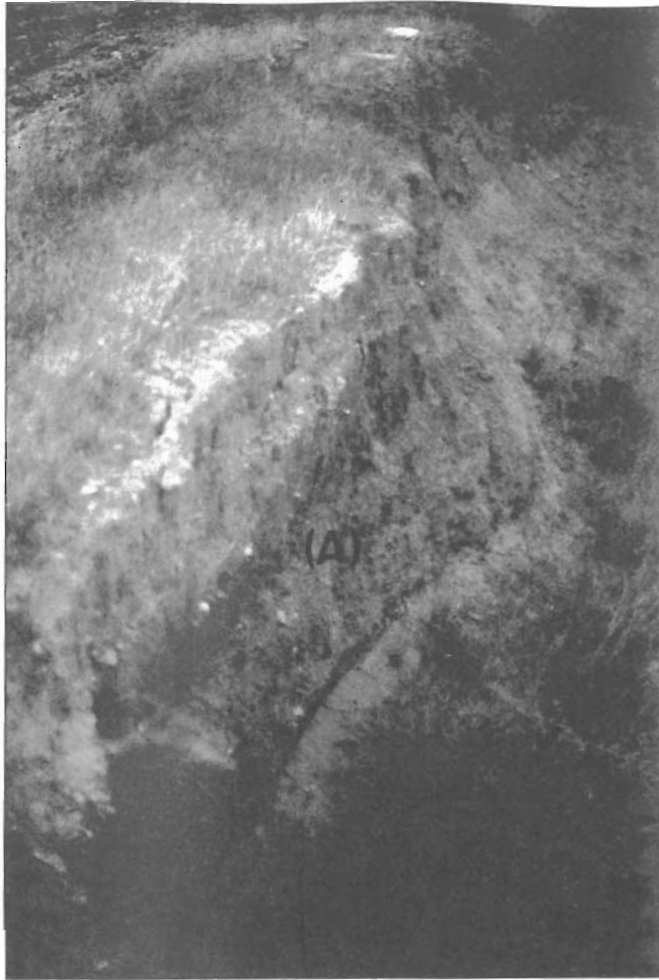


Fig. - 51. Ruptura por liquefacción (A) con descompensación hacia la base en margen no cohesivo.
Rambla de Caveas (Tallante)

mineros, ricos en metales pesados y sales. Esta circunstancia genera una densa red de cárcavas y entubamientos lineales anastomosados que aceleran los procesos de erosión y arrastre.

En virtud de los términos de la ecuación del ángulo de fricción y de la alta tasa media de energía potencial desarrollada en fuertes crecidas, las partículas finas, externas y subsuperficiales, de estos márgenes se encuentran en continuo estado de equilibrio crítico, bastando una pequeña carga hidráulica para ser separadas de su posición inicial. Una vez disgregadas, son arrastradas en suspensión o disueltas, hasta alcanzar el Mar Menor.

La magnitud de los aportes está directamente relacionada con las elevadas velocidades de corriente originadas en intensas avenidas (0,4-1 m/s), la baja protección de los márgenes dentro de la cuenca vertiente y la presencia de residuos minerales que acidifican las aguas de arroyada haciéndolas más agresivas.

3. CONCLUSIONES

El impacto geomorfológico de la erosión hídrica en el Campo de Cartagena tiene su más clara expresión en las intensas avenidas fluviales que esporádicamente afectan al área. Sus efectos geomorfológicos difieren sensiblemente de unas a otras unidades de drenaje, siendo obvia la tendencia de excavado lineal de los cauces de órdenes inferiores (regueros, cárcavas, ramblizos, barrancos...), la erosión del suelo en amplios sectores de cabecera, (particularmente en las cuencas de las Ramblas del Albujón, Benipila, Beal, Ponce, Portmán...), socavamiento de los márgenes en los tramos medios, con ruptura de equilibrio de sus materiales, fragmentación y derrumbe de muros de revestimiento y, por último, la sedimentación de acarreo sólidos en los sectores bajos.

Especial interés reviste, por su impacto en el paisaje, la erosión lineal y la acreción lateral de los cauces, cuyo desarrollo más notorio se observa en los abanicos aluviales del Sur de Carrascoy, Las Torres, Campillo de Adentro, vertiente Norte de Los Garabitos, La Muela y Galifa. En estos sectores las modificaciones morfológicas más visibles, exceptuando las antrópicas, se constatan en los márgenes de rambla, muchos de los cuales presentan gran inestabilidad frente a los mecanismos de ruptura (efectos de "arrastre fluvio-torrencial", "socavación de niveles bajos", procesos de "desgaste" y "debilitación interna").

El seguimiento de 12 estaciones de "control" repartidas en 4 ramblas (Ramblas de La Murta, Valdelentisco, Bocaioira y Portús) en el período septiembre 1982-diciembre 1986 ha permitido establecer algunas consideraciones de interés, si bien los resultados sólo constituyen una primera aproximación a la identificación e impacto de los procesos de erosión más comunes en dichos aparatos torrenciales:

- La profundidad del socavado varía sensiblemente de unas estaciones a otras, notándose cierta correlación directa con la proporción de arenas sueltas, declive, valor de los componentes de velocidad hidráulica, geometría del margen...

- En los puntos de control situados en la Rambla del Portús destaca la singular efectividad producida por la acción simultánea de los mecanismos de agrietamiento y ruptura.

- En el transcurso de grandes avenidas el flujo torrencial que recorre las ramblas del Campo de Cartagena rompe el equilibrio de tensión del margen en momentos muy distintos, según las características geométricas y texturales de éste y la velocidad del flujo. Generalmente, el "momento de equilibrio" (T_{eq}), calculado para materiales límite predominantemente arenosos, no cementados, es rebasado al sobrevenir descargas medias $\sim 4 \text{ m}^3/\text{s}$ y velocidades marginales específicas $\sim 0,06 \text{ m/s}$. Para limos y gravas sin matriz el "desequilibrio" se presenta en el umbral de velocidad marginal $\sim 0,08$ ó $\sim 0,1 \text{ m/s}$. Finalmente para depósitos cementados no cohesivos dicho límite se sitúa en $V^{mg} \sim 0,2 \text{ m/s}$.

- La importancia de los procesos hidráulicos, de erosión y sedimentación de las ramblas se suma en este área a la débil competencia mecánica que oponen a los flujos las rocas afectadas. La escasa coherencia de los materiales del margen es una variable presente en más del 75 por ciento de la longitud de los talwegs existentes en la comarca, fenómeno que, sin duda, contribuye a introducir una nota de fragilidad en la morfología de ciertos sectores, en particular de los periféricos de la llanura central y cuencas costeras. De hecho, en gran número de casos los valores de tensión de corte (t_c), ángulo de margen (γ) y de (θ) son suficientemente significativos para calificar de crítico el estado del margen de determinadas ramblas ($t_c > 14$ pascales; $\gamma > 40^\circ$; $\theta > 25^\circ$) (Ramblas de La Murta, Bocaioira y Benipila).

IV

ACTUACIONES HUMANAS SOBRE LOS PROCESOS DE EROSIÓN

Una de las premisas básicas a contemplar por un programa global de ordenación del espacio del Campo de Cartagena debe ser necesariamente la adopción de medidas y actuaciones humanas orientadas a mitigar o, a ser posible, suprimir, los efectos perniciosos de las avenidas.

El grado de respuesta humana ante fenómenos de esta índole se diluye en el tiempo y, a pesar de existir grupos con cierta concienciación en algunas de las áreas afectadas (El Almarjal de Cartagena, El Garbanzal...), en general la familiaridad con dicho medio y el cambio de percepción por introducción de mejoras parciales, pueden conducir a una infravaloración del alcance potencial de los daños (HAGGET, 1975 y CALVO, 1982, 1984).

En realidad, aunque la interferencia antrópica sobre los aspectos hidrogeomorfológicos se traduce de formas muy diversas según las áreas, en la mayoría de las cuencas es preciso combatir este tipo de riesgo, mediante un mayor control técnico, la ampliación de los usos de conservación del suelo y la mayor infraestructura de sus redes de drenaje.

1. EVOLUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO

El paisaje bio-agrario del Campo de Cartagena ha experimentado en el último siglo un profundo cambio, en contraste con el lento ritmo de evolución atribuido por MADDOZ a esta comarca en el siglo XIX. La valoración de los cambios recientes se basa en los datos de estadística agraria (Ministerio de Agricultura) y fotogramas aéreos de los vuelos de 1956 (Servicio Geográfico del Ejército), 1981 (con inclusión de ortofotomapas) y, en sectores puntuales, 1986 (Comunidad Autónoma de Murcia). Determinadas interpretaciones han sido fundadas en criterios de organización espacial expuestos por BAKER (1979) en "Land Use /Land-Cover Mapping From Aerial Photographs" y por CAMPBELL (1981) en "Spatial Correlation Effects Upon Accuracy of Supervised Classification of Land Cover". La razón de abordar el estudio de los cambios de usos del suelo más comunes en este área estriba en la importante incidencia que tienen sobre las actuales condiciones de escorrentía y los procesos de erosión de los sistemas de drenaje.

Según los usos del suelo pueden distinguirse cuatro sectores, coincidentes con unidades litológicas bien diferenciadas:

1. Cabeceras y laderas montañosas.
2. Superficies de glaciais y abanicos aluviales.
3. Lechos de inundación de las ramblas.
4. Sectores semiendorréicos y costeros.

A continuación se describe cada uno de estos sectores, omitiendo las modificaciones y modalidades de adaptación de los cauces, que merecen una consideración aparte y son objeto de estudio en el trabajo: *Clima e hidrología de un medio semiárido: El Campo de Cartagena* (CONESA, e.p.).

1.1. En cabeceras y laderas montañosas. La deforestación

Este sector, correspondiente a los terrenos accidentados del Campo de Cartagena (sierras periféricas de Carrascoy, Cartagena y La Unión), y escasas y pequeñas elevaciones interiores, se encuentra en la actualidad prácticamente deforestado. Este empobrecimiento de la vegetación se debe en gran parte a las circunstancias históricas, que han favorecido su casi total extinción en algunos lugares.

Así por ejemplo, la gran escasez de vegetación de las sierras meridionales no obedece sólo a la presencia de condiciones áridas y pendientes acusadas, sino también a una reiterada intervención humana sobre el espacio forestal, que a lo largo de la historia se ha dejado sentir de forma generalizada en el resto del territorio español, si bien fueron las áreas centrales y meridionales donde el bosque sufrió una mayor explotación, siendo el siglo XVIII el que registró las talas más “abusivas” (VÁZQUEZ PRADA, 1978).

A finales del siglo XVI Cartagena, debido a la abundancia de barrilla en sus almarjales y su condición de puerto abierto al Mediterráneo, comienza a ofrecer grandes expectativas para la instalación de fábricas de jabones (GARCÍA GARCÍA, 1984). Paralelamente a la fabricación de jabón se inició el comercio de la leña, que suministraba la fuente de energía de las jabonerías, además de ser destinada para el consumo de la ciudad. En el siglo XVI el “carboneo” en los montes llegó a hacerse muy intenso, siendo esta la causa de que el Ayuntamiento de Cartagena acordara prohibirlo en noviembre de 1586 (MARTÍNEZ RIZO, 1894).

A finales del XVI se hizo urgente la repoblación forestal en los lugares que ofrecían una buena producción natural, principalmente en los extramuros de San Roque y El Almarjal, El Madroñal, La Peña del Aguila, Torre de Nicolás Pérez, Torres Casas, Bocaoria, Cabezo Negro, Hoya de los Carboneros, Collado de Las Barras, El Gorguel, la “dehesa” de Escombreras, Los Camachos, El Garbanzal y todo el paraje de La Azohía.

Concretamente en el cabildo celebrado por el Ayuntamiento de Cartagena el 25 de septiembre de 1598, se pone de manifiesto una clara preocupación por conservar las plantaciones de pinos en los montes del término: “Más como quiera que tanto en la parte de Poniente como en la de Levante se criaban muchas especies de reproducción natural, por ser la tierra acomodada para ello, y a fin de que no se agoten, se hacía necesaria la veda de la corta y tala, imponiéndose la pena que señala la ordenanza y comprometiéndose el Ayuntamiento a no dar la licencia para sacar madera, únicamente de la parte del Portús, y la escarda para quemar en la parte de Levante, quedando reservada la mota de la Peña del Aguila, que es desde las Herrerías del Garbanzal, partiendo de la senda que va a la fuente del Losal, y volviendo por la Loma de la Solana, sita a lo alto de la Peña del Aguila, a los Bermejales, que están en dichas Herrerías, donde hay mucha cría de pinos que conviene conservar”.

A pesar de todas las prohibiciones y vedas, el carboneo y la tala furtiva de árboles, sobre todo de pino joven, en el siglo XVIII se convirtió en un problema acuciante para el Concejo, que en 1754 declaró que era necesaria “la conservación de los montes que se hallan

destruidos por las maliciosas talas, precisando todo el común de esta ciudad a buscar en territorios extraños la madera que se necesita para las casas, y lo que es más, la leña y carbón que tan necesarios son para la subsistencia de un pueblo” (A.H.M. Cartagena, Caja 11 (1749-1800).

Con el fin de mantener el ritmo de repoblación se concedieron licencias para cortar leña, previniendo que ésta fuera de las ramas, sin cortar el pino por el pie, como la fechada en 20 de septiembre de 1754 por la que se permite a “Juan Casanova, vecino de esta ciudad y morador en Campo Nubla, que pueda cortar de los montes de la costa de poniente de esta jurisdicción y de los árboles pino de ella dos corredores y doce chuecas para quemar la barrilla de su cosecha” (A.H.M. Cartagena, 1749-1800).

Al iniciarse el siglo XX, las plantaciones de árboles en estos sectores son muy escasas, y en la década de los 50, según se desprende de la información del vuelo de 1956, la carencia de pinos y arbustos es ya casi total, o se trata de áreas prácticamente deforestadas como lo evidencian las Sierras de Cartagena y La Unión, Sierras de La Picadera, de Pelayo, Roldán, Sierra Gorda.

En los fotogramas de 1981, continúa siendo patente la falta de vegetación arbórea, si bien se ha intentado combatir en determinados sectores, como en las Sierras del Puerto, Columbares, Altaona y Escalona con el fin de frenar sus fuertes procesos de abarrancamiento, o en las vertientes de umbría de las Sierras de la Muela, Sierra de la Atalaya, Peña del Aguila, Monte de Cenizas y Cabezo de Fuente, donde ha sido posible conservar pequeñas comunidades de pino carrasco (*Pinus halepensis*).

El resto de las superficies de cabeceras y laderas montañosas, hecha la excepción de los aterrazamientos de secano marginal, que se describirán más adelante, son terrenos con matorrales exiguos, esteparios, en ocasiones muy pobres o desnudos de vegetación (sector Sancti Spiritu-Llano del Beal, Atamaría, Cabezo Las Lajas...), áreas degradadas y “vacies” con regueros (fig. 52), suelos contaminados y árboles destruidos por efectos de lluvias ácidas (Valle de Escombreras, fig. 53) de manera que es fácil reconocer en la actualidad paisajes de acusada tendencia a la aridez (figs. 54 y 55) y vertientes de modelado dinámico sobre las que los procesos torrenciales ejercen especial influencia.

1.2. En superficies de glacis y abanicos aluviales

Estos sectores comprenden en conjunto el área más extensa del Campo de Cartagena, hallándose integrados por materiales cuaternarios en los que los cultivos han sido casi exclusivamente de secano hasta bien avanzado el siglo XX: cebada, algarrobos, almendros, olivos, higueras...

Otras especies también muy explotadas en estos sectores fueron el esparto y el albardín, gramíneas xerofíticas correspondientes a la etapa final de la degradación de las especies leñosas, adaptadas a cualquier tipo de suelo. Probablemente más del 30 por ciento de la superficie de glacis y conos de derrubios fue área de localización de estas especies. En la actualidad, apenas ocupan el 0,2 por ciento, merced a la rápida introducción del regadío y a la intensa utilización agrícola del suelo. Su aprovechamiento agrícola se remonta a tiempos muy antiguos, perdurando hasta la década de los cincuenta del presente siglo, años en que las principales áreas de recolección se situaban en torno al Albardinal (de ahí su nombre), Sur de Roldán, Torremendo y San Miguel de Salinas.

Hacia la mitad del siglo XX se observa en estas áreas un claro predominio de la cerealicultura tradicional, basada principalmente en la cebada, alternante con parcelas de algarrobos, almendros y olivos. Hasta ese momento la mayor parte del terrazgo de secano se extiende preferentemente en los sectores de relieve suave llegando a coincidir sus límites

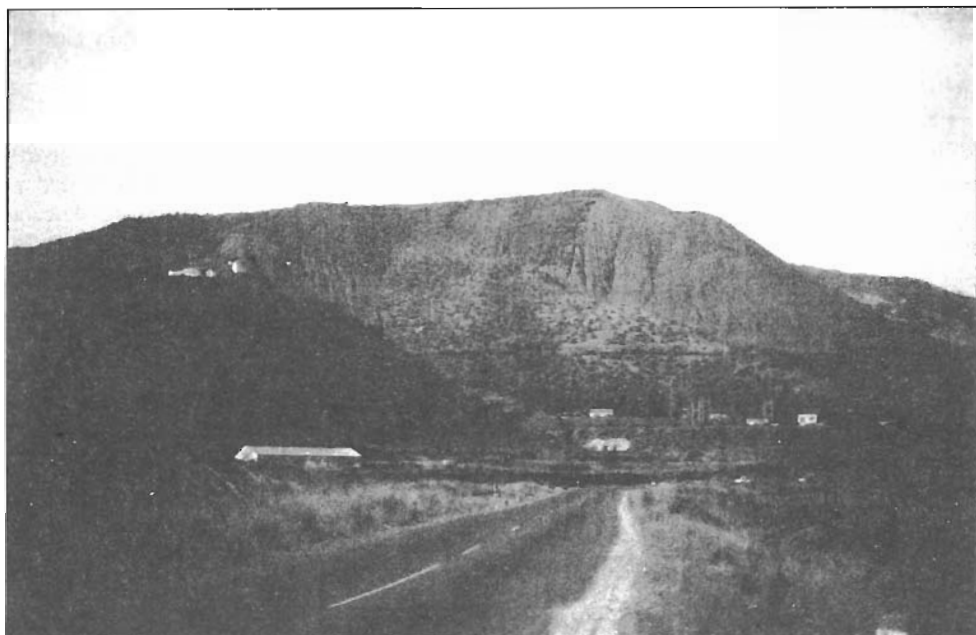


Fig. - 52. *Terreras en proceso de reguerización y acarcavamiento. Proximidades de La Unión*



Fig. - 53. *Efectos de la lluvia ácida sobre la vegetación (Valle de Escombreras)*



Fig. - 54. *Vertiente norte de la Sierra Oeste de Cartagena*

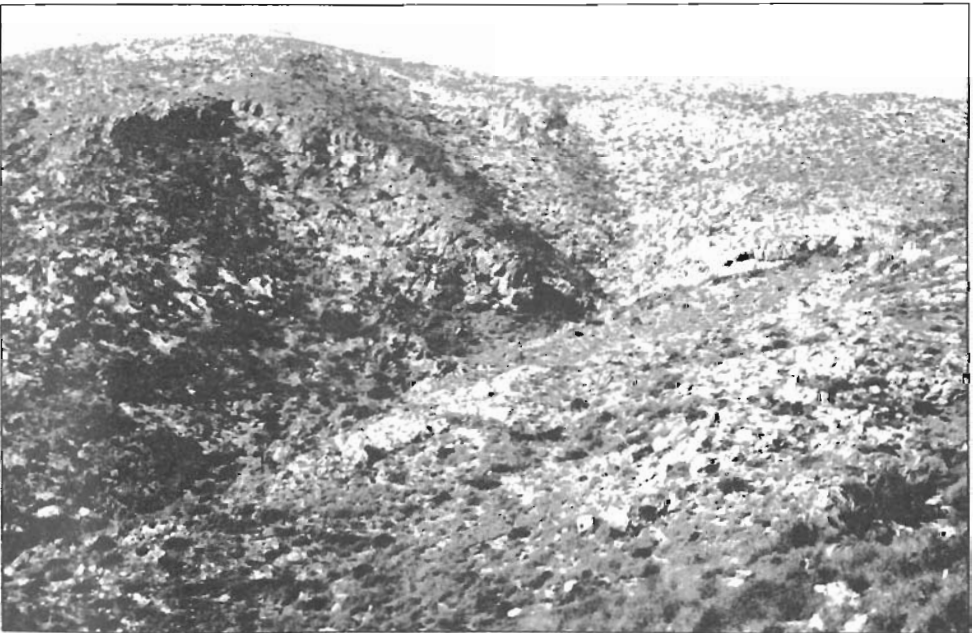


Fig. - 55. *Cabezo de Porpuz (Sierra de Cartagena)*

con las líneas de contacto de los glaciares con las vertientes montañosas (por ejemplo, en la vertiente Sur de Carrascoy). Sólo en los secanos marginales desarrollados en el cuadrante suroccidental de la comarca y algunos otros aislados junto a las sierras septentrionales se rebasa dicho límite remontando la ladera. Pero con relativa frecuencia, en estos límites aparecen parcelas abandonadas, colonizadas por matorral o eriales, como es el caso de los parajes del Majuelo y Los Charetas, situados al Sur de Canteras. También a fines de los años cincuenta puede situarse a grandes rasgos la aparición de los primeros cultivos característicos del Campo en su fase de regadío con aguas de pozo (forrajes, pimienta, melón, habas...) Sin embargo, es preciso llegar a la década de los sesenta para que empiece a hacerse evidente la transformación de la agricultura y será durante la segunda mitad de este decenio cuando se introduzca verdaderamente el riego en las explotaciones y sufra un retroceso importante el terrazgo de secano. Entre 1960 y 1968 la proporción de tierras de regadío respecto al total de superficie cultivada casi se duplica, de donde se deriva un cambio sustancial en los cultivos que ya en 1968 cuentan con una fuerte representación de los hortícolas (más de 4.100 Has), de los cítricos (769 Has) y de los industriales (3.314 Has). A pesar de ello, otros cultivos de secano permanecen muy arraigados todavía, como son las leguminosas para grano y, sobre todo, los cereales y frutales de secano.

Durante el primer quinquenio de los setenta la presencia de períodos de exacerbada sequía y el relativo menor uso de las aguas de pozo hizo disminuir las superficies de cultivo, quedando en barbecho buena parte del área de estudio. "En los cultivos más típicos de secano se aprecia una doble tendencia que muestra el crecimiento de las superficies dedicadas al almendro, comportamiento que se mantendrá en años posteriores, y la reducción de las ocupadas por los otros frutales de secano cuya desaparición va a ser irreversible" (CONESA y GÓMEZ FAYRÉN, 1984). Con todo, a primeros de los años setenta, más de dos tercios de la superficie cultivada del Campo de Cartagena (en su mayor parte sobre áreas de glaciares) corresponden a cultivos de secano.

A partir de 1976 se abre una nueva etapa de transformación que augura un cambio más radical y sostenido que el producido a finales de los sesenta. Todavía en esa fecha el predominio de las superficies de secano es notorio, los cereales llegan a contar con 23.736 Has y los frutales de secano superan las 10.000 (MINISTERIO DE AGRICULTURA), estos últimos singularmente extendidos en la cuenca de la Rambla del Albujón. Se reducen las leguminosas para grano que, al igual que los tubérculos, pasan a ser un cultivo residual, mientras que crecen significativamente las hortalizas y los cítricos.

En 1981, transcurridos tan sólo seis años, los cereales han visto retroceder su superficie en un 32 por ciento, y los frutales de secano, que se mantenían estables desde 1971, pierden 369 Has. Por el contrario los cultivos industriales de regadío crecen en un 47,3 por ciento, destacando a este respecto particularmente el algodón; los cítricos en un 37,7 por ciento con preponderancia del limonero; y los hortícolas que aumentan en un 25,2 por ciento, muestran un cultivo relativamente nuevo en la comarca, la alcachofa, que alcanza casi 1.000 Has, incorporándose además nuevas hortalizas que presentan buenas expectativas.

En definitiva, puede decirse que en el transcurso de los últimos años se detecta un cambio notable en relación a los cultivos dentro de estos sectores, que procede esencialmente de la transformación de una agricultura tradicional de secano a otra que en el futuro va a estar principalmente orientada al regadío. Esos cambios se inician con el regadío de pozos, se intensifican en un segundo momento con agua procedente de los mismos y en consecuencia van a originar una situación de hecho que se anticipa en buena medida a la llegada del agua del Trasvase. Me refiero a la aparición de una serie de cultivos aptos para este tipo de agua que van a pervivir después de la llegada de los primeros caudales junto a otros de nueva introducción.

En los fotogramas aéreos del vuelo de 1981 se aprecia una gran transformación del paisaje agrícola en comparación con el vuelo de 1956:

1. Una mayor ocupación agrícola y reducción considerable de los baldíos intercalados en el área de secanos marginales, hoy principalmente en parcelas de almendros.
2. La línea de contacto glacis-piedemontes es superada, sobre todo por el terrazgo de secano, con relativa más frecuencia que se observaba en 1956.
3. Aparece un acusado contraste entre la superficie de regadío y la de secano.

Además de las transformaciones impuestas por el empleo de aguas subterráneas, el cambio más notable en la morfología agraria se debe a las nuevas ordenaciones parcelarias y a la moderna infraestructura de riego creada con motivo del Trasvase Tajo-Segura. La zona afectada tiene una superficie aproximada de 34.500 Has, dividida en sectores hidráulicos, bajo el criterio de agrupar dentro de cada uno de ellos las áreas cuya alimentación y drenaje puedan ser considerados de manera independiente, salvando algunas limitaciones de superficie. En el trazado de estas redes no se tiene en cuenta el parcelario existente, ni se respeta la red de caminos vecinales, distribuyéndose la zona en unidades superficiales de riego de 4 Has, con distancias a recorrer por el agua en el interior de cada parcela, por reguera de distribución, comprendida entre 200 y 300 m. Cada unidad superficial de riego tiene acceso desde un camino de la red viaria, a la vez que las conducciones principales de agua llevan paralelamente un camino de servicio para su mantenimiento. El límite norte de la zona regable lo constituye el Canal del Campo de Cartagena, que aproximadamente sigue la cota de los 80 m, afectando a los términos municipales de Orihuela (provincia de Alicante), San Pedro del Pinatar, San Javier y Torre Pacheco, y en menor grado al de Fuente Alamo. Quedan afectadas, por tanto, las cuencas de topografía más suave de cuantas integran la comarca, entre las cuencas de la Rambla de la Maraña, Rambla del Cabezo Gordo, Rambla de Miranda... en consecuencia, sobre gran parte del glacis más extenso y reciente del Campo de Cartagena, el paisaje agrario ha sufrido una enorme transformación traducida hoy en la creación de parcelas perfectamente ordenadas. No obstante, los nuevos sistemas de riego han conducido a desechar en muchos casos (tramos medios y bajos de las ramblas nororientales) la utilización de las antiguas técnicas de riego eventual, de modo que las aguas de avenidas no son derivadas, sino que corren libremente por los cauces sin ningún tipo de control ni laminación.

- En los sectores con regadío exclusivo de agua de pozo (desde los Martínez a la Peraleja) el parcelario aparece menos ordenado, si bien se compone de todo un sistema de terrazas niveladas mediante pequeños taludes.
 - En el terrazgo de secano se conservan los viejos parcelarios y buena parte de los dispositivos de riegos de aguas eventuales. Dentro de este área, en las cuencas de la Rambla de Benipila y Rambla del Portús, la irregular disposición de las parcelas guarda gran relación con las desigualdades del terreno y el trazado de las ramblas, formando parte de un sistema de terrazas de contorno ligeramente ondulado que marca la base de heterotipados complejos de arterrazamientos en laderas.
4. Menor protección de los cauces por usos agrícolas o vegetación natural. Gran número de olivos, acebuches e higueras que se veía, a través de los fotogramas de 1956, ubicados en los cauces de diversas ramblas han sido arrancados o destruidos, siendo éste un importante factor en la aceleración de los actuales procesos erosivos y de arroyamiento.

En general, es claramente manifiesta la incidencia de determinados factores de control materializados en el escaso valor medio de las pendientes y en la acertada acción humana:

1. La pendiente media de las superficies de glacis se sitúa en torno al 0,5 por ciento. Ello

- sin contar con las transformaciones morfológicas impuestas por el agricultor, que debilitan la inclinación en numerosas parcelas, disminuyendo su potencial erosivo.
2. El hombre, cuya actuación se traduce en el buen manejo de los cultivos y en el control de la escorrentía por medio de prácticas agrícolas eficientes:
- La dirección de los cultivos se verifica en orden a tres aspectos:
- La fertilización, con frecuencia realizada en las tierras de regadío, que se caracteriza sobre todo por asociar el enterrado de rastrojos o el laboreo del suelo con abono mineral. Ello permite mejorar no sólo las condiciones de fertilidad del suelo, sino también su textura y por consiguiente incrementar la cohesión del suelo, sostenido por sistemas de raíces mejor desarrolladas que aumentan la infiltración.
 - La acción de los setos, bandas de matorrales de 1 a 2,5 metros de anchura con una ramificación baja y a veces densa que asegura una mejor retención del suelo. Generalmente, en estos sectores, constituyen el principal delimitador de parcelas y explotaciones, y a menudo, cuando siguen las curvas de nivel y la inclinación topográfica es del 0,2 al 1,5 por ciento, cubren el talud separador de pequeñas terrazas de cultivo, reduciendo considerablemente la pendiente de buena parte del glacis.
 - La rotación de cultivos que, al menos en el terrazgo de regadío de la mitad oriental del Campo de Cartagena, se efectúa de manera racional, procurando una restitución de la fertilidad del suelo, y de la que es claro ejemplo la alternancia “cebada o trigo leguminosa (en particular habas y guisantes)”, practicada actualmente en un 8 por ciento de la superficie de dicho área. tal es así, que la alternancia trigo o cebada-barbecho”, muy común desde antiguo en la comarca, ha sido reemplazada casi en su totalidad por aquélla, dotada de una mayor capacidad de restitución de los elementos fértiles del suelo y de un mayor rendimiento en la producción. Por otra parte, es frecuente en determinados sectores (Torre Pacheco, Balsicas...) que en un mismo año se produzca la sucesión de varios tipos de cultivo:
 - cereales-habas-melón.
 - algodón-barbecho-pimiento para pimentón, cultivos éstos que tienen exigencias diferentes y contribuyen conjuntamente a paliar el empobrecimiento de los suelos agrícolas.

1.3. En lechos de inundación episódica de las ramblas

Según se desprende de los fotogramas aéreos de 1956 la práctica más común en lechos de inundación episódicos en los años cincuenta era su utilización para cultivos de secano: algarrobos, almendros, olivos e higueras, rasgo en muchos casos diferenciador de las áreas de secano con riego axial esporádico y de las estrictamente de secano. La Rambla de la Guía ofrece un claro ejemplo al respecto: junto a los amplios bucles que dibuja antes de afluir a la Rambla de Benipila el lecho de inundación episódica alcanza un gran desarrollo, presentando en más de un 70 por ciento de su superficie cultivos arbóreos de secano. Su alineación casi paralela al trazado de estos bucles facilita la distribución del agua de avenida extraída por boqueras. El propio lecho de todos sus tributarios aparece intensamente ocupado por pequeñas parcelas de algarrobos y almendros, esta vez dispuestas perpendicularmente a la dirección del flujo. Estos usos agrícolas contrastan con los observados, en la misma década, sobre las superficies del glacis, en las que existe un neto predominio de los cereales y parcelas de mayores dimensiones (por lo general de 2 a 10 Has).

Se aprecia además una buena conservación de la red hidrográfica, modificaciones del lecho de las ramblas impuestas por el aprovechamiento de aguas eventuales que contribuyen

a laminar la onda de crecida, y, por consiguiente, a reducir muy sensiblemente el volumen de daños potenciales.

Sin embargo, en el transcurso de los últimos 30 años, la morfología, textura de los sedimentos y usos de los lechos de las ramblas han sido alterados en muchos sectores por razones muy variadas: En unos casos, la intensa explotación de áridos ha provocado rupturas de pendiente y profundos cambios en las propiedades texturales de los depósitos de lecho, lo que ha acrecentado muy sustancialmente la magnitud de los efectos geomorfológicos de avenidas en ramblas como la del Portús, en la que vienen explotándose desde la década de los sesenta, o la del Ciprés, cuyas extracciones son relativamente recientes.

En otros casos, se han rellenado parcialmente para su utilización agrícola (algunos tramos de las Ramblas del Albuñón, La Murta, La Maraña), ignorándose que por ellos corrían esporádicamente aguas, apareciendo estos sectores tanto en tramos de glacia dentro de la extensa franja central del Campo de Cartagena en los que dichas ramblas habrían excavado someramente sus cauces, como en tramos de afluencia de las áreas semiendorricas de Hoya Morena-Los Alcázares.

Por último, a través de los fotogramas del vuelo de 1986, se observa en el lecho de inundación de numerosas ramblas una clara reducción de las especies arbóreas de secano, a la vez que un cierto abandono de los sistemas tradicionales de aprovechamiento de aguas eventuales. Este es el caso de la Rambla de La Murta, Rambla de Corvera y Rambla de Fuente Alamo, donde han desaparecido gran número de algarrobos y olivos.

Junto a estos factores existen actuaciones humanas ecológicamente mal direccionadas, como son la utilización de los cauces como vertederos de materiales sólidos: escombros,

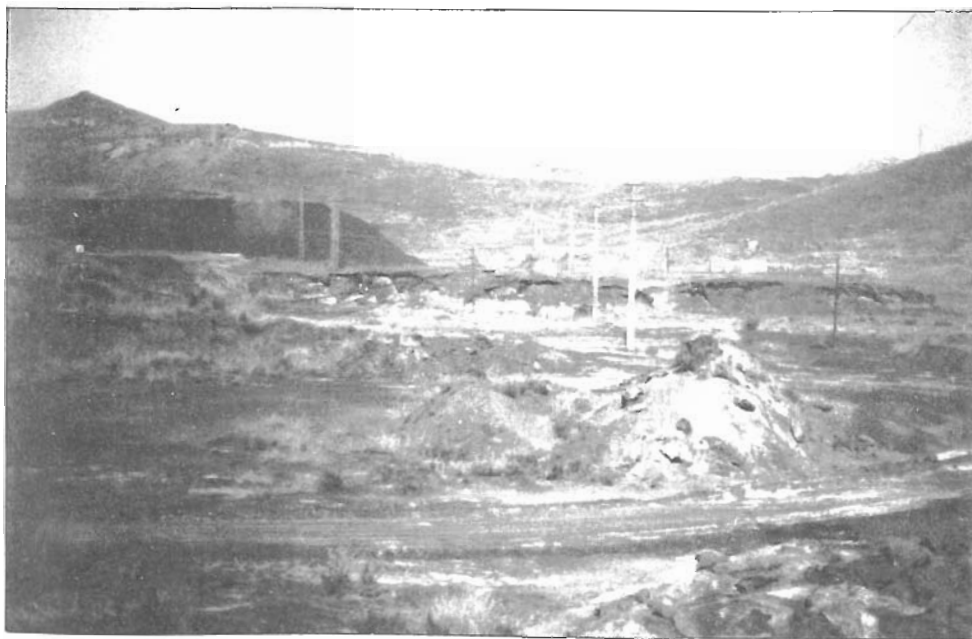


Fig. 56.- *Rambla del Beal. Amplio lecho relleno de desechos minerales*



Fig. 57.- *Rambla del Beal. Al fondo el Mar Menor*

basuras, como medios de evacuación de residuos minerales. Ejemplos de la primera acción son determinados lugares del tramo medio de la Rambla de la Carrasquilla, Rambla de Peñas Blancas, Rambla de Fuente Alamo..., en cuyos márgenes aparecen escombreras capaces de obstaculizar el funcionamiento del colector al formar verdaderos represamientos. La ruptura de estos montículos y el arrastre de materiales muy heterogéneos pueden originar avalanchas, fuertemente destructivas, como la ocurrida en la Rambla de Fuente Alamo, aguas abajo de Cuevas de Reylo en octubre de 1986.

Ello prueba en múltiples ocasiones la obstrucción y consiguiente pérdida de capacidad de desagüe de algunos arcos de puente que cruzan estas ramblas, situación aún más grave si se tiene en cuenta que la mayoría de ellos y de otras obras de infraestructura viaria no han considerado el volumen potencial de arroyamiento en épocas de crecidas, como es el caso del cruce de la carretera Cartagena-Isla Plana sobre la Rambla de Peñas Blancas, el puente

del Badén sobre la Rambla de Bocaoria y el puente del Albujión en la carretera N-301 de Cartagena-Murcia.

Por otra parte, la evacuación de estériles a través de los cauces de ciertas ramblas plantea serios problemas de deterioro del medio ambiente. De hecho una buena proporción de residuos minerales procedentes de la Sierra de La Unión son transportados hasta el Mar Menor por medio de las Ramblas Poce, Beal y Miedo (figs. 56 y 57). Pero, paralelamente a la contaminación que motivan en la laguna estos vertidos, otro hecho llamativo es el riesgo evidente de incrementar el empobrecimiento de sus tierras circundantes desde el punto de vista agronómico, como consecuencia de desbordamientos esporádicos.

1.4. En zonas semiendorréicas y costeras

Todas las cuencas estudiadas drenan al mar, en unos casos al mar Mediterráneo como las de las ramblas costero-meridionales, en otros al Mar menor, como las pertenecientes a las Ramblas del Albujión, Miranda, Miedo, Beal y Carrasquilla. A diferencia de las primeras, los tramos bajos de las que vierten al Mar Menor constituyen tierras llanas, de drenaje incierto, salobres, y cauces poco pronunciados. El propio tramo inferior de la Rambla del Albujión, desde el paraje de Hoya Morena hasta Los Alcázares corresponde a un sector semiendorréico de declive muy suave, constituido por litologías cuaternarias y suelos escasamente permeables. Geomorfológicamente, este sector, así como el resto de la ribera, es continuación de la depresión ocupada por el Mar Menor. Sucesivas oscilaciones del nivel marino han llevado consigo diversos ciclos de acumulación y erosión respectivamente que han originado el modelado de la actual ribera de la laguna (SIMONNEAU, 1973, LILLO CARPIO, 1979 a, b). Sus suelos son predominantemente salinos, pertenecientes a los Aridisoles, Mollic Gipsic Salorthids de la clasificación americana 7ª aproximación (SÁNCHEZ y ARTÉS, 1971).

Estos suelos se extienden por toda la ribera interior del Mar Menor, si bien en el sector NW, debido al desarrollo urbanístico, la mayor parte de ellos han sido profundamente alterados. Al norte de Los Alcázares se localizan suelos arcillo-arenosos, cálcicos, ricos en cloruro sódico. Desde la desembocadura de la Rambla del Albujión hasta Los Urrutias aparece también una apreciable proporción de sulfatos y la textura se hace ligeramente más arcillosa. Por su parte, en los sectores de las salinas de Lo Pollo, desembocadura de la Rambla del Beal y El Vivero, la gran duración de los períodos secos y las elevadas temperaturas estivales contribuyen a la formación de suelos salinos blancos, con alto contenido en sulfatos y cloruros.

En dichos terrenos y en áreas de almarjales próximas a Cartagena se han desarrollado desde muy antiguo comunidades vegetales características; sin embargo la acentuada interferencia humana, relacionada unas veces con el interés económico de algunas de sus especies y otras por ser, en épocas de inundación, focos de enfermedades endémicas (CONESA y ARGENTE, 1984), ha reducido considerablemente su dominio y riqueza.

La más abundante en baldíos, esteros y sectores del litoral era la barrilla (*Sarcocornia fruticosa*), que fue objeto de un intenso aprovechamiento para la industria jabonera de Cartagena en la Edad Moderna. Como materia prima para la elaboración del jabón se utilizaban las cenizas de algunas especies del género *Salsola* L., conocidas también con el nombre de "barrilla", dotadas de alto contenido de carbonato sódico. Destaca además la *Halogeton Sativus* (barrilla fina o de Alicante), la *Salsola Kali* L. (barrilla pinchosa), la *Salsola Webbii* (barrilla salada) y la *Salsola Longifolia*, abundantes en toda la zona costera.

De hecho, las cenizas más cotizadas, por su calidad, eran las procedentes de Alicante y Cartagena, que contenían de un 25 a un 40 por ciento de carbonato sódico, y durante el siglo

XVIII su exportación constituyó un comercio muy importante en España (GIL OLCINA, 1975). Ante la necesidad de sal de barrilla en otros países europeos, Cartagena, uno de los principales puertos del litoral mediterráneo, realizó en este siglo un considerable comercio con las cenizas de dichas plantas, al tiempo que supuso gran beneficio para la ciudad, al establecer el Concejo Municipal el arbitrio de un real por quintal de sosa y barrilla que se extrajera por su muelle (A.H.M. de Cartagena, Expediente 7 (1765-1788)). Ello da prueba de la enorme importancia que en el citado período alcanzó la explotación de la barrilla, hasta entonces uso natural del suelo bastante extendido en el Sureste Peninsular (GIL OLCINA, 1975; GRIS MARTÍNEZ, 1982; GARCÍA GARCÍA, 1984).

Con idéntico fin de explotación que la barrilla se utilizó la sosa, sal lejívia, obtenida de las cenizas de especies halófilas muy frecuentes en el litoral mediterráneo sobre todo en terrenos nitrosos que habían sido ocupados por el mar, como es el caso del Almarjal de Cartagena. Entre las más importantes destacan la *Kali Spinosum*, la *Salicornia fruticosa*, propia de los saladares de toda la franja litoral murciana y del Almarjal, y la *Arthrocnemum indicum* o *Salicornia macrostachya*, mucho menos extendida, relativamente abundante en los terrenos salitrosos de la desembocadura de la Rambla de Benipila (ESTEVE CHUECA, 1973).

Al igual que la barrilla fue objeto de explotación y arrendamiento desde el siglo XVI, estableciéndose a partir de 1581 un sistema de impuestos sobre dichos productos a cargo de la Junta de Propios y Arbitrios.

En la actualidad El Almarjal de Cartagena está prácticamente urbanizado con los problemas de inundación "potencial" que lleva consigo y, a lo sumo, en la ribera de la Laguna del Mar Menor y en torno a Calblanque, puede constatarse un área bastante restringida de especies típicamente halófilas, alternando con parcelas de cultivo: la barrilla (*Sarcocornia fruticosa*), *Inula crithmoides*, *Limonium angustibracteum*, el albardín (*Lygeum spartum*) y, en menor abundancia, la verdolaga marina (*Halimione postulacoides*). Además de estas especies, en la llanura pantanosa correspondiente a las antiguas salinas de Lo Pollo, entre Los Nietos y Los Urrutias, se encuentran, según ha podido constatar MARTÍN DE AGAR (1983), restos de un antiguo bosquecillo de la especie *Tamarix jimenezii* de Pau, hoy inexistente, como consecuencia de la acción antrópica, lo que ha mermado aún más la capacidad de infiltración de estos suelos favoreciendo el encharcamiento y el lagunaje.

En algunos de estos sectores el fenómeno antrópico principal viene determinado por la existencia de un regadío tradicional, que utiliza las aguas de pozo también salinas (San Javier, Los Alcázares, Boca Rambla...).

Por último debe citarse la importancia que en la ribera del Mar Menor ha alcanzado recientemente la actividad turística, centrada sobre todo junto a las Playas de Santiago de la Ribera, Los Urrutias, "Islas Menores" y "Salinas".

2. PRÁCTICAS DE CONTROL SOBRE LOS PROCESOS EROSIVOS

2.1. Ordenación de laderas. Prácticas de control de la escorrentía superficial

En el transcurso de 30 años (1956-1986) han aumentado considerablemente la importación y el número de prácticas técnicas de conservación del suelo, siendo la cuenca de la Rambla del Portús y los tramos alto y medio de la cuenca pertenecientes a la Rambla de Peñas Blancas los sectores que mayores transformaciones han experimentado en tal sentido:

- Cunetas de intercepción con desagüe, excavadas en tierra y canales de desviación.
- Caballones de control de la erosión.

– Terrazas escalonadas (subtipo con plataforma estrecha con contorno desigual o paralelo).

a) *Cunetas de intercepción*

Las cunetas de intercepción son practicadas en áreas con pendiente superior al 20 por ciento, especialmente susceptibles de erosión. Ellas detienen y desvían el arroyamiento superficial, favoreciendo la infiltración en el suelo. La finalidad de esta práctica es reducir la erosión en las partes bajas de la vertiente y aprovechar agrícolamente sus aguas mediante canales o surcos labrados en tierra que concentren y desvíen buena parte de la escorrentía. Normalmente estas cunetas tienen forma de cuña o artesa y se disponen próximas a las terrazas bajas.

Cuando la arroyada es poco importante pueden interceptar el volumen de corriente de las partes altas dando lugar a una absorción total por el suelo de la terraza en que se ha construido. En condiciones de fuerte arroyamiento sirven de protección a las parcelas inferiores, que se benefician de estas aguas, una vez frenadas por las cunetas y muros de contención de las terrazas y conducidas con menor velocidad hasta la boquera o derivación.

Con menor frecuencia el control de la erosión se ejerce mediante una serie de surcos equidistantes que conducen las aguas de escorrentía a un canal y a través de él a parcelas inferiores o, en caso de excedentes, al cauce de la rambla más próxima. Un claro ejemplo se da en las terrazas bajas de relieves próximos a la Morra de la Arjona (Cuenca de la Rambla del Cabezo Negro).

La principal ventaja de este sistema radica en la posibilidad de utilizar maquinaria agrícola sin grandes limitaciones de movimiento. Sin embargo, está poco extendido, habida cuenta de que para su perfecto funcionamiento, serían necesarias obras de derivación muy costosas.

b) *Caballones de control de la erosión*

La efectividad de este sistema consiste en interceptar la corriente superficial mediante una serie de caballones relativamente alineados (HOLY, 1984). El agua interceptada por los caballones de desviación, dotados de una pendiente longitudinal de más del 10 por ciento, es conducida a las parcelas más bajas sin riesgo de erosión (por ejemplo, Paraje de Los Gazapos, situado 2,5 al SE de Perín). Con bastante frecuencia también estos caballones tienen pendientes longitudinales de manera que facilitan la absorción del agua por el suelo en la base de la parcela donde se hallan instalados. Este segundo subtipo es propio de los sectores bajos de los piedemontes de pequeños cabezos (Cabezo Beaza, Cabezo Ventura..., ambos próximos a la carretera Cartagena-Los Beatos), en los que suelen presentar una disposición radial.

c) *Terrazas escalonadas*

Las terrazas escalonadas suelen establecerse en materiales blandos, suelos algo “profundos” y vertientes con un gradiente de más del 15 por ciento. Su función es la de interceptar, retener y, según los casos, desviar la corriente superficial. La forma de estas terrazas y su altura depende de la pendiente del área, profundidad del perfil del suelo, nivelación del terreno, posibilidad de acceso de la maquinaria agrícola, métodos de cultivo...

Las terrazas construidas en la cabecera de La Rambla de Peñas Blancas (Los Barbastres,

Loma de Los Colorados, Cabezo del Calderón) son extremadamente reducidos y de contornos muy irregulares.

En el sector extendido desde la Morra de Los Madriles hasta la Morra del Pino, incluyendo Galifa, perteneciente a la cuenca de la Rambla del Portús, las terrazas presentan generalmente una plataforma estrecha y un salto de escalón pronunciado, a veces superior a 2 metros. Este aparece bien en forma de talud de tierra con vegetación o de muro de piedra bastante inclinado y en algunos casos prácticamente vertical. Su contorno se adapta perfectamente a las curvas de nivel, como puede verse en la fig. 58, traduciendo niveles de terraza paralelos construidos principalmente en los interfluvios.

Técnicamente esta construcción de las terrazas escalonadas en estos sectores es bastante adecuada, siendo el resultado de una larga experiencia y gran esfuerzo humano. Por comparación con las características de varios aterrazamientos localizados en los relieves del cuadrante Sur-occidental de la comarca, puede comprobarse que sus condiciones morfológicas son, con frecuencia, particularmente idóneas para el control de la erosión, dependiendo su efectividad de las limitaciones impuestas por la pendiente topográfica original. O sea la morfología de este sistema de terrazas se presenta en muchos casos adaptada eficazmente a la accidentalidad del terreno inicial. Sus parámetros proporcionalidad y dimensionamiento real guardan cierta relación con los deducidos según el modelo de KASPRZAK (1959) (fig. 59), en el que:

T^* = profundidad del perfil del suelo en dirección al sustrato rocoso (m).

t_o^* = profundidad del perfil del suelo utilizable para la vegetación natural o cultivos (0,6-0,8 m).

t^* = profundidad permisible de excavación para la construcción de la terraza (m).

V = excavación (m^3).

N = relleno (terraplén), lo que supone $V = N$.

l = anchura de la plataforma de la terraza (biseccionada por el punto de intersección con el terreno inicial) (m).

h = altura del escalón de terraza (biseccionada por el punto de intersección con el terreno inicial) (m).

L = anchura de la terraza, no debiendo exceder la longitud de la pendiente permisible (m).

I_1 = pendiente media del terreno original (%).

I_2 = pendiente asignada a la terraza (%).

I_3 = pendiente del escalón de la terraza, dependiente del suelo y del refuerzo (expresada por la razón 1:m).

I_4 = pendiente longitudinal de la terraza, dependiente de la configuración del terreno, permeabilidad del suelo y condiciones de precipitación (%).

A partir de la fig. 59 se pueden derivar ecuaciones para averiguar la altura de la plataforma de la terraza:

$$h = \frac{2(T^* - t_o^*)}{I - I_1} \quad (m)$$

la anchura de la plataforma de la terraza

$$l = \frac{2(t^* - t_o^*)}{I_1 - I_2} \quad (m)$$

la pendiente de la plataforma de la terraza

$$I^2 = I_1 - \frac{2 (T^* - t_o^*)}{l} \quad (\%)$$

Y la anchura total de la terraza

$$L = \frac{2 (T^* - t_o^*)}{I_1 - I_2} + h \text{ m} \quad (\text{m})$$

Datos que han sido calculados para algunos sistemas de terraza tomados como ejemplos, y comparados con los reales (Cuadro 15).

Cuadro 15
Parámetros morfológicos de terrazas escalonadas

	h(m)		l (m)		I ²	(%)	L (m)	
	*	**	*	**			*	**
Ejemplo 1: Collado de la Cruz (cuenca de la Rambla de los Barbastres)	1,0	1,2	18	17,2	0,4	0,3	19,2	19,0
Ejemplo 2: Morra Alta (cuenca de la Rambla del Portús)	1,8	2,1	16	15,5	1,2	0,5	16,5	16,4
Ejemplo 3: Cabezo de Los Sevillas (Cuenca de la Rambla de la Azohía)	1,5	1,7	14	13,3	0,6	0,4	15,3	15,5

* Reales.

** Estimados por el método de KASPRZAK (1959).

El objeto de estas terrazas es interceptar la corriente superficial y asegurar su salida no erosiva hacia el desagüe en un gradiente de pendiente $I_4 > 0$.

El área de intercepción de la terraza suele ordenarse, atendiendo a tres tipos de prácticas:

– Construcción de plataformas de terraza con pendiente positiva ($I_2 > 0$), en las que el agua de arroyamiento es absorbida por el suelo y conducida lejos sin riesgos de erosión. Normalmente la infiltración se acrecienta como consecuencia de los surcos labrados en toda la plataforma de la terraza y el agua es desviada a través de la parte saliente del muro de contención. Buen ejemplo de ello son los aterrazamientos próximos al cruce de la carretera Cartagena-Isla Plana con la de Perún.

– Establecimiento de una plataforma de terraza con $I_2 = 0$, donde la infiltración aparece favorecida por un laboreo a base de surcos (fig. 60).



Fig. 58.- Terrazas escalonadas en el paraje Fuentes Viejas (Cuenca de la Rambla del Portús).
E 1/18.000; vuelo marzo de 1986. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

– Construcción de plataformas de terraza con pendiente negativa ($I_3 < 0$), donde el área de intercepción dificulta el desagüe, a no ser que en la parte posterior de dicha plataforma existan canales o cunetas de evacuación (fig. 60).

Generalmente no se tiene en cuenta el grado de permeabilidad de los suelos, existiendo una desvinculación entre éste y la pendiente longitudinal de las parcelas aterrazadas.

En terrenos muy accidentados las terrazas suelen estar limitadas por un muro de piedra, más o menos ancho, que permite la parcelación del agua a través de sus juntas impidiendo un excesivo empapado del suelo detrás del escalón de la terraza. Al mismo tiempo actúa como refuerzo frontal y, por tanto, factor de conservación del suelo cultivable. Ejemplos claramente ilustrativos son las terrazas de Galifa, destinadas a cultivos arbóreos de secano, con valores de pendiente longitudinal muy variados (entre 0,5 y 8%), y a menudo con muros de piedra casi verticales (fig. 61), cuyo establecimiento es relativamente costoso.

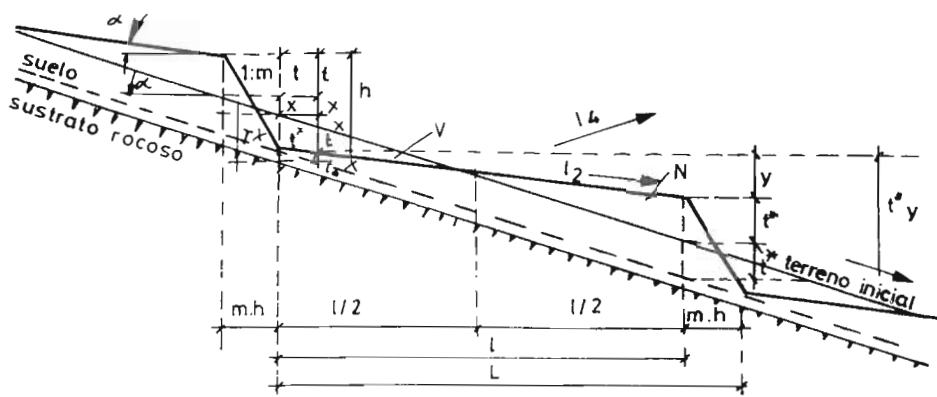


Fig. 59.- Diseño de terrazas escalonadas según KASPRZAK

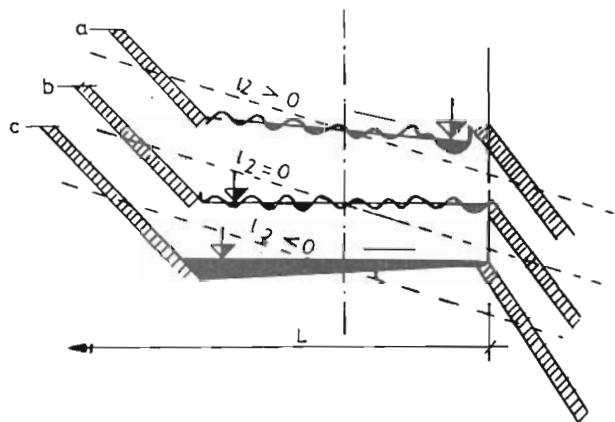


Fig. 60.- Tipos de terraza más comunes en secanos marginales

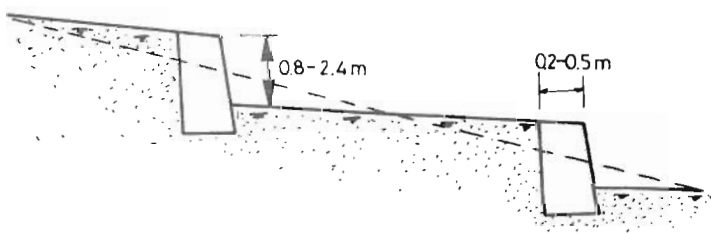


Fig. 61.- Terrazas con muros de piedra. Galifa

2.2. Ordenación de superficies de glacis

a) *Acondicionamiento del terreno*

La modificación de la pendiente debida al aterrazado de los terrenos, relativamente innecesaria en los tramos medios y bajos de los glacis, se practica principalmente en la franja septentrional del Campo (Corvera, Los Martínez, Truyols, Riquelme...) y en el cuadrante suroccidental (Cuencas de la Rambla de Benipila, Rambla del Portús y Rambla de Los Dolores), en los que a menudo ha sido preciso roturar previamente la costra caliza villafranquiense.

En el primer caso (tierras septentrionales), la pendiente topográfica general mantiene la dirección continua hacia el SE, propia de los glacis que, procedentes de la Sierra de Carrascoy, vierten al Mar menor. Sus valores, sin embargo, superan los valores medios de dichas unidades situándose entre el 1 y el 2,5 por ciento, lo que viene a explicar la construcción, en estos terrenos, de un gran número de bancales aterrazados, formando sistemas escalonados de los que brindan buenos ejemplos los tramos altos y medios de las cuencas de la Rambla del Ciprés y Rambla de Campoy. La superficie plana del sistema es muy espaciada y se mantiene mediante un talud de tierra algo oblicuo, consolidado mayormente por matorrales y gramíneas. Los desniveles entre dos bancales consecutivos apenas rebasan 1 metro, hallándose con frecuencia desprovistos de obras de mampostería o muros de contención. Lo cierto es que, salvo en determinados sectores, entre los que se incluyen Corvera y Lo Campillo, tales recubrimientos de obra no han sido necesarios, dado el carácter estabilizador de la vegetación natural o de los setos plantados en los taludes de la tierra. En la parte distal de estos sectores el terreno se acondiciona, sin modificación profunda de la pendiente original, en una serie de bandas de cultivo cuyo plano longitudinal se inclina ligeramente con respecto a la dirección de las curvas de nivel o guarda paralelismo estricto con ellas.

Los glacis meridionales presentan pendientes algo superiores en sus tramos de contacto con las laderas y conos de derrubios, de forma que los aterrazamientos se caracterizan por una menor amplitud superficial y taludes de separación de 1 a 2 metros de altura que requieren revestimientos de obra. Los materiales más comúnmente utilizados para la fijación (ejemplo, Cuenca de la Rambla de Peñas Blancas), son los propios fragmentos de la costra villafranquiense roturada.

En uno y otro caso el plano de las bandas de cultivo se inclina suavemente con respecto a la dirección de las isohipsas con el fin de evacuar el agua de arroyamiento a una velocidad no erosiva.

b) *Laboreo del suelo*

El sistema de terrazas instalado en los "conos de derrubios" sigue las mismas directrices. Claro ejemplo de ello son los terrenos extendidos al pie del Cabezo Gordo, donde predominan los bancales de dirección longitudinal paralela a las curvas de nivel (CONESA, 1984). Según puede observarse en los fotogramas aéreos de 1956 dichas parcelas aparecen agrupadas en una primera banda, bastante discontinua, cultivada inmediatamente al borde de las laderas con frutales de secano (higueras, algarrobos, almendros), la mayoría de las veces en disposición de terrazas. En algunos sectores, su anchura sobrepasa los 500 metros, tal es el caso del Suroeste del Cabezo, en el que su límite externo se extiende a más de 520 metros de distancia, derivándose de él una prolongación de 1,5 kilómetros hacia el SE como consecuencia de la expansión del cultivo arbóreo de secano en el cauce de la Rambla de

Camachos. Una segunda banda de terrazas de cultivo le sucede en un radio medio de 430 metros. Generalmente se desarrollan a continuación del límite externo de la banda anterior y sólo en pocas ocasiones aparecen construidas al pie mismo del Cabezo. Su cultivo principal, los cereales, está siendo reemplazado en la actualidad por los cítricos, si bien el ritmo de expansión de estos últimos resulta mucho más lento que el experimentado en la llanura, entre otras razones por los grandes gastos de inversión que implica la elevación del agua para riego. Finalmente existen unas áreas muy localizadas que son tierras de cultivo abandonadas, sobre las que ha actuado la erosión, originando todo un conjunto de cárcavas y "regueros".

El laboreo agrícola que, en opinión de BOULAINÉ (1981) comprende todo tipo de prácticas agrícolas sobre una parcela, incluyendo el volteo y remoción de la tierra, es, como ya se ha dicho, un elemento de control hidro-geomorfológico favorable en esta comarca, ya que existe una clara tendencia al laboreo contorneado, siguiendo las curvas de nivel.

Hoy es bien conocido por todos que este tipo de laboreo reduce sensiblemente la escorrentía. Cuantitativamente así lo ponen de manifiesto THORNES (1980) y LASANTA y ORTIGOSA (1983, 1984), que a partir de estudios en parcelas experimentales demuestran bajo tales condiciones el papel de "presa" de los caballones y su incidencia en la infiltración.

A pesar de ello, pueden observarse en superficies onduladas de glacia, al norte del Escobar, o sobre algunos abanicos aluviales, prácticas contrarias que facilitan el arrastre de suelo. En ocasiones, cuando la pendiente es superior al 8 por ciento, incluso la adaptación a las curvas de nivel resulta insuficiente y deben adoptarse otras medidas, como son el cultivo de bandas alternantes o el de bandas con hierbas y matorrales (TRICART, 1978; CONAC, 1979; THOMPSON y TROEH, 1980). Este es el caso de terrenos "alomados" correspondientes a retazos de antiguos glacia de acumulación, situados principalmente en la franja septentrional del Campo de Cartagena.

No obstante, existen prácticas agrícolas, muchas de ellas en terrenos de secano, que aceleran los procesos de erosión o comunican gran dinamismo a los fenómenos de escorrentía. Con frecuencia se realizan cultivos de escarda, hecho que aumenta el riesgo de erosión, al mantener una gran superficie de suelo desnudo entre las hileras, tal como se ha demostrado en experimentos efectuados en diversas regiones del mundo (THOMPSON y TROEH, 1980). Por otra parte, los cultivos forrajeros (ray grass) previstos en las nuevas ordenaciones del I.R.Y.D.A. para el Campo de Cartagena y que hubieran supuesto una forma eficaz de conservación del suelo, mediante un aumento de la porosidad y de la estabilidad de los agregados, no se han llevado a cabo hasta el momento.

En los terrenos más llanos de estos glacia, donde el suelo carece de suficiente permeabilidad (parte central del Campo de Cartagena), los agricultores efectúan previamente un escarificado profundo o un subsolado con el fin de aumentar el volumen de tierra a embeber. En estas circunstancias no se hace necesaria una red excesivamente jerarquizada de canales de desagüe. El mullido se realiza en períodos secos con lo que el aumento de la capacidad de infiltración del suelo se produce coincidiendo con la época de mayor riesgo de lluvias torrenciales. Favorecidas por la escasa pendiente topográfica y las técnicas de preparación del suelo, las labores "isohipsas" constituyen aquí un medio realmente eficaz de reducir la escorrentía y la erosión.

2.3. Control de la escorrentía concentrada

En una comarca como ésta, en la que ya se han puesto de manifiesto la importancia del arroyamiento concentrado en época de avenidas y la vulnerabilidad a la erosión de gran parte de sus suelos y litologías, desnudos o pobres de vegetación y sometidos a los efectos

de una prolongada estación seca, la actuación antrópica sobre los cauces de ramblas y barrancos es eminentemente necesaria.

Al derivarse de ello importantes problemas sociales y económicos, el gasto en este tipo de obras está sobradamente justificado (JANSEN, 1982).

En este sentido deben valorarse simultáneamente las repercusiones de la introducción del factor humano en la ocupación del suelo y la consideración global de los sistemas de control de la erosión en los cauces.

Un ejemplo de la primera premisa es la ocupación por el hombre de las áreas sin riesgo aparente tras la construcción de obras de control, que pueden acabar originando daños aún mayores (COSTA y BAKER, 1981; GARZÓN, 1985). En el caso del área en estudio, la Real Orden del Ministerio de Fomento de 23 de octubre de 1924 (DIVISIÓN HIDRÁULICA DEL SEGURA, 1924) incluye con prioridad la aprobación de Obras de desagüe del Almarjal: Canal desde el Almarjal al puerto de Cartagena, cámara de compuertas en el arranque del canal y elevación de la rasante de la carretera que conduce de las Puertas de San José al barrio de San Antonio Abad. Finalizadas dichas obras el sector del Almarjal ha ido rellenándose de materiales de diversas procedencias haciendo posible la ejecución del Plan General del Ensanche y Saneamiento de Cartagena. En la actualidad es un área urbanizada todavía potencialmente inundable, en la que se ubican gran número de establecimientos comerciales, el hospital Santa María del Rosell... cuyas pérdidas han disparado sensiblemente el volumen de daños globales del municipio en las últimas avenidas.

En el otro aspecto de consideración global, las medidas técnicas más utilizadas hasta el momento tienen por objeto la protección-aislamiento de cárcavas, el revestimiento de cauces y la construcción de diques para el control de la erosión en los tramos altos de los cursos.



Fig. 62.- Protección de la carretera Cartagena-Isla Plana. (Rambla de Benipila)

a) *Protección-aislamiento de cárcavas*

Esta práctica incluye diversos acondicionamientos en la cabecera de la cárcava o ramblizo, sistemas ya citados anteriormente, como son terrazas, diques de intercepción de la escorrentía, repoblación forestal aguas arriba, plantaciones de especies de raíces profundas en los bordes...

En ningún caso se trata de técnicas generalizadas en la totalidad de las cuencas de la comarca, pero sí están teniendo particular arraigo en sectores de fuerte acarcavamiento: tramo alto del Río Seco, ramblizos de las sierras del Puerto, Los Villares y Escalona...

b) *Revestimiento de cauces*

Aparte de las obras de protección llevadas a cabo en las Ramblas de Benipila y Santa Lucía, en su tramo de paso por Cartagena, descritas detalladamente anteriormente, cabe señalar también toda una serie de revestimientos parciales del margen de algunas ramblas esporádicamente funcionales (Rambla de Fuente Alamo, Rambla de La Muela, Rambla de Peñas Blancas...). Aun así, son protecciones puntuales, junto a vías de comunicación (carretera Cartagena-Isla Plana, fig. 62), fincas privadas (figs. 63 y 64) y con bastante frecuencia en precario estado de conservación (fig. 63). Otros cauces igualmente torrenciales (Rambla de Bocaoria, Rambla de la Carrasquilla...) carecen de todo tipo de revestimiento, por lo que, en definitiva, puede decirse que la erosión de los márgenes de ramblas en el Campo de Cartagena está muy escasamente controlada.



Fig. 63.- *Boquete abierto en muro de revestimiento. (Rambla de Peñas Blancas, junto al Saladillo)*

c) *Diques de contención y modificación de la pendiente inicial del lecho*

Con el fin de mitigar la acción erosiva de barrancos y torrentes se ha procedido en muchos casos a la construcción de diques de derivación o contención que, tras un período relativamente corto, han posibilitado la nivelación o reducción parcial de la pendiente longitudinal del lecho. En cauces con una pendiente de lecho muy irregular esta modificación viene impuesta por una serie de "bancos", diques y desmontes de estabilización.

Los diques de derivación permiten el aprovechamiento agrícola de las aguas de avenidas, introduciendo algunas modificaciones en el margen afectado del cauce o en la disposición de los bancos del lecho.

En cambio los diques de consolidación se construyen para graduar el lecho del cauce y



Fig. 64.- *Revestimiento basal del margen. (Rambla de la Muela)*

reducir su pendiente longitudinal por intercepción y estabilización de los sedimentos. En una primera etapa tienen como función principal la retención de sedimentos impidiendo su transporte hacia los tramos inferiores y cuando se colmatan de materiales originan un sistema escalonado de terrazas, susceptible incluso de ser cultivado (La Torreta, Cuenca de la Rambla del Portús) o colonizado por vegetación arbórea (Barranco de Roldán) (fig. 65).

Muchos de los diques existentes en los cauces de los tramos altos están prácticamente rellenos en la actualidad, o sea están en fase de consolidación de la llamada línea de sedimentación, extendida entre la corona del dique más bajo y la base del dique más próxima aguas arriba. Un dique de altura H dará lugar, después de un cierto período, a partir de su construcción, a una "línea" de sedimentos con gradiente I' y distancia DF (Fig. 66).

En el tramo alto de la Rambla del Cabezo Negro aparecen, según puede verse en los



Fig. 65.- Diques de consolidación de sedimentos. Barranco de Roldán

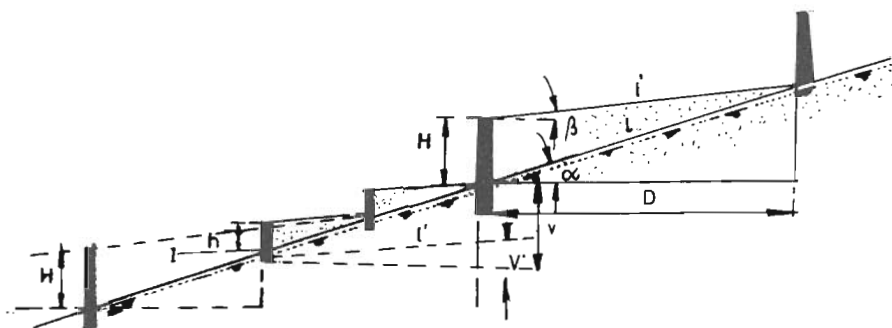


Fig. 66.- Esquema de diques de consolidación

fotogramas del vuelo 1986 (fig. 58), varios diques de retención distantes 80-140 metros unos de otros, responsables de una profunda modificación del lecho primitivo del cauce.

Si se tiene en cuenta que en los fotogramas de 1956 no se observan tales construcciones, que la pendiente originaria del lecho es de 2,4 por ciento, que su altura H varía entre 1,5 y 2,5 metros y que la altura alcanzada por los sedimentos represados hasta 1986 supera generalmente el 75 por ciento de H , es obvio que en menos de 30 años se han producido acarrees torrenciales muy considerables, capaces de reducir la pendiente longitudinal entre los diques en más de 0,6 por ciento.

En los torrentes que circundan la Morra La Arjona, el intervalo entre diques de retención es mucho más corto (10-40 metros), debido a la mayor pendiente longitudinal del lecho y al acrecentado dinamismo geomorfológico del área, actualmente por la desnudez de las vertientes y el abandono de todo un sistema de terrazas escalonadas que acelera la erosión, al hallarse parcialmente destruidas (fig. 67).

d) *Sistemas de riego con aguas eventuales: boqueras*

En España, las acepciones que se dan al término “boquera” son muchas y variadas, según las distintas regiones en las que tiene lugar dicha práctica. En los campos de Almería y Murcia el término boquera se utiliza para designar a un canal la mayoría de las veces excavado en tierra, que sirve para conducir las aguas de las avenidas esporádicas de las ramblas hasta las tierras de cultivo (MORALES GIL, 1968-69). esta misma acepción tienen los términos “agüera” en Aragón (RÍOS ROMERO, 1951) y “cap-rec” en Mallorca (DICCIONARI CATALA-VALENCIA-BALEAR), aunque aquí la derivación no siempre parte de una rambla, sino también puede originarse en una vertiente.

Hasta el momento han abordado este tema gran número de autores, entre ellos LLOBET (1958), VILA VALENTI (1961), NAVARRO (1968), MORALES GIL (1968-69) y GEIGER (1970), este último en *Die Aridität in Südostspanien*, donde incluye un capítulo sobre “Riegos de avenidas y sistemas de boquera”, convenientemente ilustrado con cartografía y fotogramas aéreos.

En el Campo de Cartagena, las ramblas han venido desempeñando desde muy antiguo un papel decisivo como abastecedores suplementarios de agua a las terrazas de secano. Hacia los años cincuenta la mayoría de ellas disponen de derivaciones de pequeño alcance en el marco de un área que podría denominarse de “regadío axial eventual”. Generalmente estas derivaciones parten de pequeños montículos de tierra construidos en posición diagonal al



Fig. 67.- Vista aérea de un sistema de terrazas abandonadas. Morra de la Arjona. E: 1/8.000. Vuelo marzo 1986 Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

cauce, que permiten desviar una fracción inicial de las aguas de avenida. En otros casos, menos frecuentes, la misma morfología del cauce y la topografía de las tierras circundantes hace que sólo sea necesario excavar un canal en el lugar más favorable para el desagüe "secundario". Por lo general, el declive de estas ramblas es bastante reducido y por ello facilita la desviación del agua a terrazas bajas de cultivos sin riesgos importantes de erosión.

El análisis de los fotogramas aéreos del vuelo de 1956 pone de manifiesto que en esta fecha la superficie de la comarca dotada de riego con boqueras constituía cerca del 14 por ciento de su terrazgo de secano. Es básicamente junto a la Rambla de la Guía (tributario de la Rambla de Benipila), tramos altos y medios de la Rambla del Albujón y en la franja norte del Campo, entre la Rambla de Campoy la Rambla de Los Quintines, donde se dan los mejores ejemplos de terrazas de secano, regadas esporádicamente con aguas de avenida. Las dos últimas ramblas, unidas al tramo alto de la Rambla de la Señora forman lo que GEIGER (1970) ha calificado como "Binnentächer": pluralidad de ramblizos convergentes entre sí (a menudo formando una red en abanico), que continuamente son sustituidos por el hombre mediante un sistema regulador de distribución de canales. La particularidad de estas derivaciones, a diferencia de las practicadas en la Rambla de Nogalte, estriba en su escasa longitud, a veces un simple surco de no más de 100 metros de largo. Las ramificaciones secundarias son, sin embargo, bastante numerosas y permiten el riego eventual, en torno a dichas ramblas, de una franja lineal de gran superficie (para el ejemplo de las Ramblas del Ciprés-La Señora, aproximadamente unas 420 Has que se distribuyen en parcelas, aterrazadas en su mayor parte). Son, no obstante, aguas turbias que, al llegar a los sectores centro orientales de la comarca, lo hacen con caudales a veces escasos o nulos, ya que la multipli-

cidad de las derivaciones, aguas arriba, impide un mayor caudal en los descensos. De este modo, el aprovechamiento de las aguas de avenida por los agricultores de Torre Pacheco, Pozo Estrecho, La Palma, Los Alcázares ha estado siempre condicionado por la importancia de los volúmenes detraídos en los tramos altos (tierras de secano de Corvera, Los Martínez, Los Villares, Los Geas...), viéndose obligados a emplear mayormente el agua de escasos arroyamientos secundarios autóctonos.

En la actualidad, aún se mantienen dispositivos de este tipo en diversos tramos en que el cauce de la rambla no ha sufrido especial transformación (aguas abajo de la Rambla de la Señora, algunos tramos de las Ramblas de la Murta, Corvera, Campoy y Camachos). Sin embargo, en las áreas de nuevos regadíos, el sistema de boqueras ha sido descuidado o abandonado como consecuencia del empleo de aguas de pozo y las impotaciones hídricas del Tajo que, al ser empleadas en calidad de regadíos controlados habrá de imprimir un cambio muy notorio en la morfología agraria. La repercusión más directa sobre la escorrentía es la falta de laminación, hecho que ha contribuido en avenidas recientes (febrero de 1985 y octubre de 1986) a anegar parcelas de cultivo enteras, situadas en lechos de inundación episódica, y que apenas fueron afectadas en las crecidas, no menos fuertes, de octubre de 1969 y octubre de 1972.

Otras características de estas técnicas tradicionales de riego eventual, comunmente representadas en el Campo de Cartagena, son:

- La intervención directa de los agricultores en el riego.

- Los bancales tienen, en muchos casos, un sangrador entre ellos, ya que no existe un partididor de entrada que regule las cantidades de agua que necesitan las distintas bandas de cultivo..

- No existe compuerta de regulación, ni tan siquiera en la boquera principal, de modo que no es posible devolver al cauce de la rambla las aguas sobrantes en caso de grandes crecidas y evitar, por consiguiente, pérdidas agrícolas mayores.

- Normalmente en los bancales provistos de sangrador se produce una cierta erosión de los que antes reciben el agua por boquera y una mayor fertilización de los topográficamente más bajos, en los que se depositan limos y elementos húmicos arrastrados de las terrazas superiores. Esta es una erosionabilidad de efectos restringidos, puesto que los sangradores no se disponen de forma continuada en bancales sucesivos, y cuando lo hacen tampoco se alinean en el mismo eje. En segundo lugar, al no existir compuertas en la toma de la boquera, si los caudales de la riada desbordan el lecho de inundación, éstos pueden producir la anegación de los bancales próximos y causar la rotura de los caballones de separación.

En estas tierras de secano, el ritmo del año agrícola se corresponde lógicamente con el interanual de la sequía. Al contrario de lo que sucede en el cultivo intensivo de regadío, para el que el verano es siempre la época de mayor crecimiento, ningún año se parece a otro, dada la enorme irregularidad de las precipitaciones.

Se trata, en definitiva, de un “secano ayudado” con riegos eventuales, a menudo breves, que connotan un paisaje bien característico. Las especies cultivadas son las propias del secano, aunque existe una cierta preferencia por la plantación de árboles frutales. Los olivares y almendros, por ejemplo, pueden aprovechar y obtener un gran volumen de suelo, debido a sus raíces profundas; su imbibición es, además, mayor que la de los cereales, dotados de sistemas radiculares que únicamente se limitan a los horizontes edáficos superiores. Sólo en algunos tramos bajos en los que el cauce divaga meandrizante existe un predomino claro de parcelas cultivadas de cereales y muy especialmente de cebada.

3. CONCLUSIONES

Tanto las condiciones de escorrentía como la erosión hídrica han sido objeto, y continúan siéndolo aún más en la actualidad, de profundos cambios debidos a la actuación humana. Las estructuras hidrológicas no son invariables sino que también acusan la acción antrópica que puede haberlas modificado de forma sustancial, máxime en los dominios mediterráneos donde son tan precarios los equilibrios morfológicos e hidrológicos (MATEU BELLES, 1982, 1984).

En la mayoría de los sistemas de drenaje del Campo de Cartagena se reconocen importantes modificaciones directas (según terminología de PARK, 1977) como son la canalización de algunos tramos de ramblas, manipulación de los márgenes, control de la erosión mediante diques de consolidación, edificaciones y redes viarias que aprovechan los cauces... y modificaciones indirectas (en opinión de LEWIN, 1977), entre las que se incluyen sensibles cambios en los usos del suelo, el desarrollo urbano, vertidos a las ramblas...

La deforestación abusiva, especialmente intensa durante el siglo XVIII en las Sierras de Cartagena y La Unión, la reciente roturación de frutales de secano en los lechos de las ramblas, la obturación de los cauces, los vertidos de estériles minerales al Mar Menor y Bahía de Portmán y la existencia de lluvia ácida, de efectos ya palpables en el Valle de Escombreras, son algunas de las acciones del hombre que directa o indirectamente conducen a la desertificación y acentúan la erodibilidad de estas tierras.

– El empobrecimiento de la vegetación se debe en gran parte a circunstancias históricas, que han favorecido su casi total extinción en diversos lugares (Extramuros de San Roque, El Almarjal, Peña del Águila, Torres Casas, Bocaoria, Cabezo Negro, Hoya de los Carboneros, Collado de Las Barras, El Gorguel, la “dehesa” de Escombreras, Los Camachos, el Garbanzal y todo el paraje de La Azohía), siendo de destacar el carboneo y la tala furtiva de árboles practicados en el siglo XVIII y principios del XIX.

– En el siglo XX, y especialmente a partir de los años cincuenta, la actuación humana tiende a incrementar aún más los efectos destructivos de las avenidas, el grado de erosión y, de forma cada vez más alarmante, los riesgos de desequilibrio ecológico. Así por ejemplo en el lecho de inundación de numerosas ramblas han desaparecido muchas de las especies arbóreas de secano existentes en 1950-1960, al tiempo que se ha producido cierto abandono de los sistemas tradicionales de aprovechamiento de aguas eventuales. Por otra parte, la utilización de los cauces como vertederos de materiales sólidos (Rambla de Peñas Blancas, Rambla de Fuente Alamo) o como medios de evacuación de residuos minerales (Rambla de Ponce, Beal y del Miedo) son acciones que deterioran el medio ambiente además de proporcionar mayor agresividad a las aguas de escorrentía superficial.

Pero, a pesar de estas actuaciones mal direccionadas, es manifiesta la incidencia de determinados factores de control de la escorrentía y erosión traducidos en el buen manejo de los cultivos, empleo de prácticas agrícolas eficientes, acondicionamiento del terreno (cambalones de control de la erosión, terrazas a escalonadas, cunetas de intercepción), protección-aislamiento de cárcavas, revestimiento de cauces, construcción de diques de contención y modificación de la pendiente inicial del lecho, prácticas la mayoría de ellas desigualmente distribuidas a lo largo de la comarca, que tienen singular representación en los secanos marginales y redes de drenaje de las cuencas suroccidentales (cuencas de las Ramblas de Peñas Blancas, Cabezo Negro, Portús, Guía...).

– La fertilización, construcción de setos y rotación de cultivos se efectúan de forma muy eficaz en los sectores de Balsicas, Torre Pacheco, San Javier...

– Existe en general una clara tendencia al laboreo contorneado, siguiendo las curvas de

nivel. No obstante pueden observarse en superficies onduladas al Norte del Escobar, o sobre algunos abanicos aluviales, prácticas contrarias que facilitan el arrastre del suelo.

– El aterrazamiento de los terrenos, relativamente innecesario en los tramos medios y bajos de los glacis, se practica principalmente en la franja septentrional del Campo (Corvera, Los Martínez, Truyols, Riquelme...) y en el cuadrante suroccidental, sectores en los que amenudo ha sido preciso roturar previamente la costra villafranquiense. Técnicamente, la construcción de terrazas escalonadas en estos sectores es bastante adecuada, siendo el resultado de una larga experiencia y gran esfuerzo humano.

– Las cunetas de intercepción se construyen en áreas con pediente superior al 20 por ciento y tienen por finalidad detener y desviar el arroyamiento superficial, favoreciendo la infiltración en el suelo.

– Por último, la intervención antrópica sobre los cauces de ramblas y barrancos se muestra eminentemente necesaria, si bien ya han sido acometidas en este sentido obras de cierta utilidad: revestimientos locales del margen de algunas ramblas junto a vías de comunicación (carretera Cartagena-Isla Plana) y finca privadas y obras de canalización de las Ramblas de Benipila y Santa Lucía a su paso por Cartagena, siendo desviada la primera hacia la Algameca Chica, así como la construcción de diques de derivación y contención que tras períodos realmente cortos reducen la pendiente de tramos parciales del lecho de barrancos y torrentes.

La interferencia del hombre se traduce por tanto en actuaciones muy diversas, algunas de las cuales tienden a favorecer la conservación del suelo agrícola, laminar y provechar las aguas de escorrentía, proteger núcleos de población, instalaciones industriales, mientras que otras, por el contrario, potencian el dinamismo del arroyamiento y aceleran los procesos erosivos. En general, resulta necesaria una intervención antrópica más efectiva, materializable en la adopción de medidas de mayor control técnico, la ampliación y mejora de los usos de conservación del suelo y la adecuación infraestructural de las redes de drenaje.

REFERENCIAS

- AJAZ, A. y PARRY, R.H.G. (1974): "An unconfined tension test for compacted clays". *American Society for testing Materials. Journal of Testing and Evaluation*, vol. 2. nº 3, pp. 163-172.
- AIAS, L.J. y ORTIZ SILLA, R. (1977): "Aridisoles del Campo de Cartagena (Murcia)". I, II y III. *Anal. Edaf. y Agrob.*, t. XXXVI, núms. 3-4, pp. 193-205; 207-231; 329-339.
- (1978): "Mollisoles del Campo de Cartagena (Murcia). Características generales y mineralógicas". *Anal. Edaf. y Agrob.*, t. XXXVII, núms. 1-2, pp. 139-163.
- ALONSO PEREZ DE AGREDA, E. (1986 a.): "Movimientos del terreno, Rotura en suelos. Casos reales". *Riesgos Naturales en Ingeniería Civil*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, pp. 75-97.
- (1986 b.): "Influencia del agua en la estabilidad de taludes. Roturas en roca. Casos reales". *Riesgos Naturales en Ingeniería Civil*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, pp. 99-135.
- ATESHIAN, J.K.H. (1974): "Estimation of rainfall erosion index", *J. Irrigation and Drainage Div., Am. Soc. Civil Engrs*, 100 (IR3), pp. 293-307.
- BAKER, R.D. et al. (1979): "Land Use / Land-Cover Mapping from aerial photographs", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 45, pp. 661-668.
- BATHURST, J.C. (1978): "Flow resistance of large-scale roughness", *Journal of the Hydraulics Division*. American Society of Civil Engineers. Vol. 104, No. HY12. Proc. Paper 14239, pp. 1587-1603.
- (1982): "Theoretical aspects of flow resistance", en *Gravel-Bed rivers*. Ed. Hey, R.D., Bathurst, J.C. y Thorne, C.R. (Wiley), London, cap. 5.
- BISHOP, A.W. (1960): "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes". *Geotechnique*, vol. 5 pp. 7-17.
- BOULAINÉ, J. (1981): *La agrología*. Oikos-Tau, Barcelona, 160 p.
- BRADFORD, J.M. y PIEST, R.F. (1980): "Erosional development of valley bottom gullies in the Upper Midwestern United States". En *Thresholds in Geomorphology*. Coates y Vitek ed. Allen y Unwin, pp. 75-101.
- CALVO GARCIA-TORNEL, F. (1982): *El riesgo, in intento de valoración geográfica*, Academia Alfonso X El Sabio, Murcia, 48 p.
- CAMPBELL, J.B. (1981): "Spatial correlation effects upon accuracy of supervised classification of land cover", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47, pp. 355-363.
- CLARK, D.J. (1981): *An Expression for Determining Sediment Delivery Ratios*. M.Sc. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

- CLARK, D.J. y DICKINSON, W.T. (1981): "Estimation of sediment delivery ratios". AIC Paper. No. 81-401, *Agri. Inst. of Canada*, Ottawa, Ontario, Canada.
- CARSON, M.A. y KIRKBY, M.J. (1972): *Hillslope Form and Process*, Cambridge University Press. 475 p.
- CLAVER FARIAS, I. (1981): "Los estudios del medio físico y la defensa del medio natural", art. publicado en: *Tratado del medio natural*, T.V., de la Univ. Politécnica de Madrid, CEOTMA-INIA- ICONA. pp. 407-410.
- CONAC, F. (1979): "Les mesures de lutte contre l'érosion des terres agricoles en Roumanie". *Colloque sur l'érosion agricole...*, Strasbourg.
- CONESA GARCIA, C. (1984): *El potencial agrario de los suelos de Torre Pacheco*. Ayuntamiento de Torre Pacheco. C.A.P.M. C.A.A.M. y Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena. pp. 202-211.
- CONESA GARCIA, C. y GOMEZ FAYREN, J. (1984): "Transformación reciente de los cultivos del Campo de Cartagena en función de la obtención y calidad de aguas de riego". *III Coloquio Ibérico de Geografía*. Universidad de Barcelona. pp. 207-209.
- CONESA GARCIA, C., (1985): "Procesos fluvio-torrenciales y morfología del Cauce de Bocaoria (Oeste de las Sierras de Cartagena)". *IX Coloquio de Geógrafos Españoles*. A.G.E. Murcia. pp. 55-58.
- CONESA GARCIA, C. (e.p.): *Clima e hidrología de un medio semiárido: El Campo de Cartagena*. Universidad de Murcia. Ayuntamiento de Cartagena.
- COOK, D.J., DICKINSON, W.T., RUDRA, R.P. (1985): *The Guelph model for evaluating the effects of Agricultural Management systems on Erosion and Sedimentation. User's Manual*. Technical Report No. 126-71, School of Engineering, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- COOTE, D.R.; McDONALD, E.M., DICKINSON, W.T., OSTRY, R.C. y FRANK, R. (1982): "Agricultural and water quality and the Canadian Great Lakes Basin: I Representative agricultural watershed". *J. Environ. Qual.* II, pp. 475-481.
- COSTA, J.E. y BAKER, V.R. (1981): *Superficial Geology. Building with the Earth*. Ed. Wiley and Sons, New York, 498 p.
- COWAN, (1956): "Estimating hydraulic roughness coefficients", *Agricultural Engineering*, 27, 473-475.
- DICKINSON, W.T., PALL, R. y WALL, G.J. (1982): "Seasonal variations in soil erodibility", *ASAE*, No. 82-2573, *Amer. Soc. Agri. Engr.*, St. Joseph, Michigan.
- DICKINSON, W.T., RUDRA, R.P. y WALL, G.L. (1986): "Identification of soil erosion and fluvial sediment problems". *Hydrological Processes*, vol. 1, pp. 111-124.
- ESTEVE CHUECA, F. (1972): *Vegetación y flora de las regiones Central y Meridional de la Provincia de Murcia*. I.O.A.T.S. (CEBAS), pp. 97-370.
- FAO, PNUMA, UNESCO (1980): *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 86 p.
- FOSTER, G.R., MEYER, L.D. y ONSTAD, C.A. (1977): "An erosion equation derived basic erosion principles", *Trans. Am. Soc. agric. Engrs.*, 20, pp. 678-682.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et la précipitation atmosphériques*. P.U.F. París, 201 p.
- (1972): *Soil conservation*. Nature and Environment Series. Council of Europa. trad. al castellano por Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1975, 254 p.
- FRANCIS, C.F.; THORNES, J.B.; ROMERO DÍAZ, A.; LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1986): "Topographic controls of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment", *Catena*, 13, 2, pp. 211-225.

- FRANCIS, C. (1985): *The role and significance of surface and subsurface hydrology on gully head growth in South East Spain*. tesis doctoral. University of London.
- GARCÍA GARCÍA, E. (1984): "La industria jabonera de Cartagena en los siglos XVI al XVIII", *I Congreso Histórico Ciudad y Mar en la Edad Moderna*. Universidad de Murcia. Inédito.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (1956): "La ley de conservación de los suelos agrícolas en España". *Estudios Geográficos*. No. 64, pp. 491-494.
- GARDINER, V. y DACKOMBRE, R. (1983): *Geomorphological field manual*, Allen, London.
- GARZON HEYDT, M.G. (1985): "Las avenidas como fenómeno geológico". *En Geología y prevención de daños por inundaciones*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, pp. 5-53.
- GEIGER, F. (1970): *Die Aridität in Südostspanien*. Stuttgarter geographische studien, Stuttgart, 173 p.
- GHATE, S.R. y WHITELEY, H.R. (1982): "GAWSER-a modified HYMO model incorporating areally variable infiltration". *Transactions of the ASAE*, 25 (1), pp. 134-142.
- GIL OLCINA, A. (1975): "Explotación y cultivo de las plantas barrilleras en España". *Estudios Geográficos* (Febrero-mayo) Núm. 138-139.
- GOSS, D.W. (1973): "Relation of physical and mineralogical properties to stream bank stability". *Water Resources Bulletin*. Vol. 9., No. 1, pp. 140-144.
- GRAF, W.H. (1971): *Hydraulics of Sediment Transport*. 2a ed. Pergamon Press. London.
- GRIS MARTÍNEZ, J. (1982): "La barrilla del campo de Lorca en el siglo XVIII", *Areas*. *Revista de Ciencias Sociales*, núm. 2. Editora Regional de Murcia, p. 31.
- GRISSINGER, E.H.; LITTLE, W.C. y MURPHEY, J.B. (1981): "Erodibility of streambank materials of low cohesion". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 24, No. 3, pp. 624-630.
- GRUPO DE TRABAJO REGIONAL DEL SEGURA (1985): *Estudio sobre la evaluación de recursos hidráulicos superficiales e hidroeléctricos*, Tomo VI, Erosión hídrica, Plan hidrológico Nacional, Confederación Hidrográfica del Segura, MOPU.
- HADLEY, R.F. (1985): *Recent developments in erosion and sediment yields studies*, Technical Documents in Hydrology, International Hydrological Programme, UNESCO, París, 127, p.
- HAGGETT, P. (1975): *Geography: a modern synthesis*. Harper Int. Ed., 2a ed.
- HEY, R.D. y THORNE, C.R. (1984): "Flow processes and river channel morphology". Publ. en *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*. Geo-Books Norwich. Cambridge. p. 497.
- HOLY, M. (1978): *Soil and Water Conservation*. SNTL/ALFA, Praga.
- (1980): *Erosion and environment*. Environmental Sciences and Applications, Vol. 9, Pergamon Press. Oxford, pp. 106-125.
- HUDSON, N.W. (1975): *Soil Conservation*. Field Engineering For Agricultural Development, Clarendon Press. Oxford.
- ICONA (1982): "Problemática de la erosión. Programa de acciones en la vertiente mediterránea". Documento presentado en la *I Reunión de Investigadores del Proyecto LUCDEME*, Univ. de Granada, 24 ff. multicopiados.
- (1982): "Paisajes erosivos en el Sureste Español. Ensayo de Metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación". *Proyecto LUCDEME*. Monografía 26, 67 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS (1973): *Estudio edafológico del Campo de Cartagena (Murcia)*, publ. por el Ministerio de Agricultura (Dpto. Nacional de Ecología). Madrid, 162 p.

- KIRKBY, M.J. y MORGAN, R.P.C. (1984): *Erosión de suelos*, Editorial LIMUSA, México, 375 p.
- KIMES, S.C., BAKER, J.C. y JOHNSON, H.P. (1979): "Sediment transport from field to stream: particle size and yield". ASAE. Paper No. 79-2529, *Amer. Soc. Agri. Engr.*, St. Joseph, Michigan.
- LANE, E.W. (1955): "Design of stable channels". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, vol. 120, pp. 1-34.
- LASANTA, T. (1985): *La erosión hídrica en campos cultivados de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño.
- (1985): "Experiencias de infiltración en viñedos de La Rioja". *Actas del I Coloquio sobre Geografía de La Rioja*. I.E.R., Logroño.
- LASANTA MARTÍNEZ T. y ORTIGOSA IZQUIERDO, L.M. (1983): "Aproximación al comportamiento hidromorfológico de laderas cultivadas con viñas". VIII Coloquio de Geógrafos Españoles. Barcelona, pp. 100-107.
- LELIAVSKY, S. (1966): *And introduction to Fluvial Hydraulics*, Constable. London., Ed. Dover Publications. New York.
- LILLO CARPIO, M. (1979 a.): *Geomorfología litoral del Mar Menor y Bajo Segura*. Tesis doctoral. Univ. de Valencia (Inédito). 400 p.
- (1979 b.): "Geomorfología litoral del Mar Menor". *Papeles del Departamento de Geografía*, 8, . Univ. de Murcia pp. 9-48.
- LEWIN, F. (1977): "Channel pattern changes", en Gregory, K.J. ed. *River channel changes*, Wiley, Chichester, pp. 167-184.
- LOPEZ BERMÚDEZ, F. (1982): "El modelado costero de Cartagena-Mazarrón". *Estudios de Geografía de Murcia*. Ac. Alfonso X El Sabio. Murcia, pp. 343-365.
- (1984): "La erosión hídrica de los suelos en el dominio mediterráneo español. Percepción y diagnóstico geográfico". *Tarraco. Cuadernos de Geografía*. Vol. 4-5. Universidad de Barcelona-Tarragona, 26 p.
- (1986): "Evaluación de la erosión hídrica en las áreas receptoras de los embalses de la Cuenca del Segura. Aplicación de la U.S.L.E.". En *Estudios sobre Geomorfología del Sur de España*, Dpto. de Geografía-Física (Univ. de Murcia), Dep. of Geography (Univ. of Bristol) y COMTAG (International Geographical Union), Murcia, p. 93-97.
- LÓPEZ BERMÚDEZ y GUTIÉRREZ ESCUDERO, J.D. (1983): "Descripción y experiencias de la avenida e inundaciones de octubre de 1982 en la Cuenca del Segura". *Estudios Geográficos*, XLIV, núm. 170-171. Madrid, pp. 87-120.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F., THORNES, J.B. (1985): "Erosión y Ecología". *Cuadernos de Investigación*. La Rioja.
- LÓPEZ ONTIVEROS, A. (1984): "Actividad agraria y medio ambiente". En *Geografía y Medio Ambiente*, Monografía de la Dir. Gral. del Medio Ambiente. MOPU, Madrid, pp. 215-253.
- LLOBET, S. (1958): "Utilización del agua en la región semiárida de Huerca-Overa (Almería)". Madrid. *Estudios Geográficos*, núm. 70, pp. 5-21.
- MARTÍN DE AGAR (1983): *Ecología y planeamiento territorial: Metodología y estudio de los casos en la región murciana*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Univ. de Murcia. (Inédito), pp. 248-288.
- MARTÍNEZ RIZO, I. (1984): *Fechas y fechos de Cartagena*. Imp. de Hipólito García. Cartagena.
- MASSON, J.M. (1972): "L'erosion des sols par l'eau en climat Méditerranéen, méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodés a l'échelle du chap", *La Houille Blanche*, 8, pp. 673-678.

- MATEU BELLES, J.F. (1982): *El Norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral*, Univ. de Valencia, 286 p.
- (1984): “El problema medioambiental de las aguas continentales”, *Geografía y Medioambiente*, MOPU, Madrid, pp. 133-182.
- MEYER, L.D. y WISCHMEIER, W.H. (1969): “Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water”. *Transactions of the ASAE*.
- MILHOUS, R.T. (1982): “Effect of sediment transport and flow regulation on the ecology of gravel-bed rivers”. *En Gravel-bed Rivers*. John Wiley and Sons Ltd, pp. 819-842.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (1984): *Mapa de cultivos y aprovechamientos*. E: 1/50.000. Hojas 934, 935, 955, 956, 977 Y 978.
- MINTEGUI AGUIRRE, J.A. (1985): *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*. MOPU. Dir. Gral. Medio Ambiente. Documentación, Madrid, 150 p.
- MORALES GIL, A. (1968-69): “*El riego con aguas de avenida en las laderas subáridas*”. Papeles del Departamento de Geografía. Universidad de Murcia, pp. 167-182.
- MORGAN, R.P.C. (1980): *Soil Erosion*. Longman, London, 113.
- MORGAN, R.P.C. (1982): “Splash Detachment Under Plant Covers: Results and Implications of a Field Study”. *Transactions of the ASAE*, vol. 325, núm. 4, pp. 987-991.
- MORISAWA, M. (1985): *Rivers, Geomorphology texts*, 7, Longman, New York, p. 209.
- MUSGRAVE, G.W. (1974): “Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion”, *Journ. Soil and Water Conservation*, 2.
- NAVARRO NAVARRO, M.C. (1968): “Problemas agrarios en un sector de clima semiárido: el Campo de Aguilas”. Barcelona. *Revista de Geografía II*, pp. 5-39.
- PARK, C.C. (1977): “Man-induced changes in stream channel capacity”, en Gregory, K.J. ed. *River channel changes*. Wiley, Chichester, pp. 121-144.
- PARKER, G. (1979): “Hydraulic geometry of active graded rivers”. *Journal of the Hydraulics Division*, American Society of Civil Engineers, vol. 105, No. HY9, Proc. Paper 14841, pp. 1185-1201.
- PERKINS, H.J. (1970): “The morphology of riffle-pool sequences”, *Earth Surface Processes*, 1, pp. 71-88.
- PAVILLON, M.J. (1972): *Paléogéographies, volcanismes, structures, minéralisations plombo-zincifères et héritages dans l'Est des Cordillères bétiques (zones internes)*. C.N.R.S., París, 623 p.
- PIERCE, F.J., LARSON, W.E., DOWDY, R.H. y GRAHAM, W.A.P. (1983): “Productivity of soils: assessing long term changes due to erosion”, *J. Soil Wat. Cons.* 38, pp. 39-44.
- PIEST, R.F., BRADFORD, J.M. y WYATT, G.M. (1975): “Soil erosion and sediments transport from gullies”, *J. Hydraulics Div. Am. Soc. Civil Engrs.*, 10: (HY1), pp. 65-80.
- REE, W.O., WIMBERLEY, F.C. y CROW, F.R. (1977): “Manning n and the overload flow equation”. *Trans. ASAE*. 20 (1), pp. 89-95.
- RIOS ROMERO, F. (1951): “Posibilidades de Los Monegros y programa a desarrollar”, R.S.E.A.A.P. Instituto Juan Sebastián Elcano. C.S.I.C. Zaragoza, pp. 29-49.
- ROZOOSKII, L. (1957): “Flow of water in bends of open channels”. Academy of Sciences of Ukrainian S.S.R. Kiev, URSS (Trad. Y. Prushansky, Israel programme for scientific translations, S. Monson, Jerusalén, 1961, P.S.T. Cat. nº 363).
- SCHUMM, S.A. (1977): *The Fluvial System*, Wiley Interscience, 338 p.
- SCHUMM, S.A. (1978): “Applied Fluvial Geomorphology”. *En Applied Geomorphology*, Haím ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 119-155.
- SCHUMM, S.A. y HADLEY, R.F. (1957): “Arroyos and semi-arid cycle of erosion”, *Amer. Jour. Sci.*, 255, pp. 161-74.
- SHERARD, J.L.; DUNNIGAN, L.P.; DECKER, R.S. y STEELE, E.F. (1976): “Pinhole test

- for identifying dispersive soils". *Journal of the Geotechnical Engineering, Division American Society of Civil Engineers*. Vol. 102, No. Gt1, pp. 69-85.
- SIMONNEAU, J. (1973): *Mar Menor, Evolution sedimentologique et geochemique recente du remplissage*. Tesis Doctoral. Univ. P. Sabatier. Toulouse (Inédito).
- SUNDBORG, A. (1956): "The River Kläralven: a study in fluvial processes". *Geografiska Annaler*. Vol. 38, pp. 125-316.
- TAYLOR, D.W. (1948): *Fundamentals of Soil Mechanics*, John Wiley and Sons pp. 45-66.
- TASK COMMITTEE ON SEDIMENTATION (1966): "Sediment transport mechanics: initiation of motion". *Journal of the Hydraulics Division*, American Society of Civil Engineers, vol. 92, n° HY2, Proc. Paper 4738, pp. 291-314.
- TERZAGHI, K. (1943): *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 510 p.
- TERZAGHI, K. y PECK, R.B. (1948): *Soil Mechanics and Engineering Practice*, John Wiley and Sons, New York, 727 p.
- THOMPSON, L.M. y TROEH, F.R. (1980): *Los suelos y su fertilidad*. Reverté, S.A. Barcelona.
- THORNE, C.R. (1978): *Processes of bank erosion in river channels*, Tesis doctoral. University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 447 p.
- THORNE, C.R. (1982): "Processes and Mechanisms of River Bank Erosion". En *Gravel bed Rivers*, Ed. Hey R.D.; Bathurst, J.C. y Thorne, C.R., pp. 229.
- THORNE, C.R., LITTLE, W.C. y MURPHEY, J.B. (1981): "Bank stability and bank material properties in the bluff line streams of northwest Mississippi. "Report to the US Army Corps. of Engineers. Vicksburg District Office, USDA-SEA. Sedimentation Laboratory, Oxford, Miss. Abril 1981.
- THORNE, C.R. y TOVEY, N.K. (1981): "Stability of composite river banks" *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 6, pp. 469-484.
- THORNES, J.B. (1976): *Semi-Arid Erosional Systems: Case Studies from Spain* L.S.E. Geographical Papers, núm. 7, London, 78 p.
- THORNES J.B. (1980): "Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint". *Soil erosion*. Edit. by M.J. KIRKBY and R.P.C. MORGAN, Ltd, London, pp. 129-182.
- TRICART, J. (1978): *Geomorphologie applicable*. Masson, París, 240 p.
- VAZQUEZ DE PRADA, V. (1978): *Historia económica y social de España, vol. III Los siglos XVI y XVII*. Confederación española de Cajas de Ahorros. Madrid, p. 409.
- VILA VALENTI, J. (1961 a.): "La lucha contra la sequía en el Sureste de España". Madrid. *Estudios Geográficos*. núm. 82. pp. 25-48.
- (1961 b.): "L'irrigation par nappes pluviales dans le Sud-Est de l'Espagne". *Méditerranée*, II, pp. 19-31.
- WALL, G.J., DICKINSON, W.T. y Van VLIET, L.J.P. (1982): "Agriculture and water quality in the Canadian Great Lakes Basin: fluvial sediments" *J. Environ. Qual.*, 11, pp. 282-286.
- WILLIAMS, G.E. (1971): "Floods deposits of the sand-bed ephemeral streams of central Australia". *Sedimentology*, 17 pp. 1-40.
- WILLIAMS, J.R. y BERNDT, H.D. (1972): "Sediment Yield Computed with Universal Equation". *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, vol. 98. H. 412.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1958): "Rainfall energy and its relationships to soil loss". *Trans. Am. Geophy. Un.* 29, pp. 285-291.
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1978): "Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning". USDA, *Sci and Educ. Admins. Handbook No. 537*.

- WOLMAN, M.G. (1977): "Changing needs and opportunities in the sediment field". *Water Resources Research*. Vol. 13, No. 1, pp. 50-54.
- YALIN, M.S. (1977): *Mechanics of Sediment Transport*. 2a edic. Pergamon Press. London.
- YEN, B.C. (1975): "Spiral motion and erosion in meanders". Publ. en *Proceedings of the 16th Congress, International Association for Hydraulic Research*, Sao Paulo, Brasil, vol. 2. pp. 338-346.



cajaMurcia
Obra cultural