

ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA.

José María Senciales González

Departamento de Geografía. Universidad de Málaga.

Tlf.: 95 . 213 . 34 . 45; fax: 95 . 213 . 17 . 00 - E-mail: senciales@uma.es

RESUMEN

El problema de las inundaciones ha sido abordado desde diversas ópticas en el curso de nuestras investigaciones; unas veces directamente, como objetivo principal, y otras como proceso dentro del análisis de la dinámica general del medio. Presentamos aquí un resumen de las incidencias principales evidenciadas en un mismo área, la cuenca del río Vélez (provincia de Málaga), en diversas investigaciones.

ABSTRACT

The flood hazard has been analyzed by several points of views on ours researchs; sometimes, we have attempt to this theme as the main objective; others, we attempt it only as a process into the analysis of the general environmental dynamic. By this paper we present an abstract of the mains aspects observed on the same area, the Velez river bassin (Malaga province), by several investigations.

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de conocer la dinámica hídrica de la cuenca del río Vélez (prov. de Málaga), tras realizarse un estudio del medio físico y un completo análisis morfométrico, se aborda el análisis hidrológico de la misma. Se atiende previamente a las características de la hidrología subterránea para, posteriormente, estudiar con mayor amplitud la hidrología superficial. Esto último se lleva a cabo desde dos posibilidades diferentes: el comportamiento hidrológico según datos de aforo, y el comportamiento hidrológico supuesto en cuencas no aforadas. A partir de las cuencas aforadas se realiza una catalogación, se establecen caudales característicos y se clasifican años hidrológicos; ello permite establecer relaciones iniciales entre caudal y precipitación.

Es precisamente esta relación inicial en función de los años tipo la que permite un

análisis en profundidad de eventos reales de precipitación torrencial y sus efectos reales en las cuencas aforadas. Así, a partir de los datos de numerosas estaciones pluviométricas, se consigue una asociación a estaciones de aforo cercanas, y, luego, aplicar modelos probabilísticos (Gumbel, Poisson) a los eventos máximos, con objeto de conocer su recurrencia en cada subcuenca aforada. Los aguaceros son clasificados en función de su intensidad y del balance hídrico del suelo, siguiendo el modelo propuesto en Perles y Senciales (1994)¹, así como en Senciales y Perles (1994)².

Tras el proceso de análisis probabilístico de los eventos lluviosos, incluyendo cartografía de probabilidad de eventos según su intensidad y efectos, así como los diversos periodos de retorno, se aplica un procedimiento semejante para caudales, obteniendo los valores detallados en la tabla nº 1.

¹. En esta publicación se aborda fundamentalmente la relación de la intensidad de la lluvia con el factor erosividad.

². En esta publicación se realiza una aproximación a la probabilidad de suceder precipitaciones intensas en la cuenca del río Vélez; esta información es posteriormente ampliada en SENCIALES (1995).

Est. Aforo	Sup. (Km ²)	Q.Med. diario	Q.Max mensual	Q. "Bankfull"	Q.Max. Anual
Almanchares	12	0'085 m ³ /s	0'300 m ³ /s	0'400 m ³ /s	1'649 m ³ /s
Benamargosa	182	0'900 m ³ /s	4'113 m ³ /s	11'528 m ³ /s	19'480 m ³ /s
Bermuza	13	0'210 m ³ /s	0'616 m ³ /s	1'240 m ³ /s	2'733 m ³ /s
Guaro	119	0'792 m ³ /s	3'776 m ³ /s	12'619 m ³ /s	19'008 m ³ /s
Robite	47	0'232 m ³ /s	1'267 m ³ /s	4'032 m ³ /s	6'642 m ³ /s
Sabar	39	0'183 m ³ /s	1'203 m ³ /s	4'342 m ³ /s	6'175 m ³ /s
Salía	67	0'328 m ³ /s	1'285 m ³ /s	3'761 m ³ /s	6'555 m ³ /s

Tabla 1.- Valores de los caudales característicos de las estaciones de aforos del río Vélez.
(Elaboración propia: SENCIALES, 1995)

NOTA: En todos los casos se trata de caudales medios en 24 horas.

Añadimos a continuación algunas de las conclusiones de este análisis, tomadas íntegramente de este trabajo:

1. ANÁLISIS DE CAUDALES: PERIODOS DE RETORNO EN EL RÍO VÉLEZ

Como se observa en la tabla 1, ... las dimensiones de los caudales de descarga anual ("bankfull") muestran acusadas diferencias respecto a los caudales medios diarios... El caudal de descarga del río Robite (ver Figura nº 1 para referencias de las subcuencas) es superior al del río Salía, siendo sus dimensiones inferiores; y a su vez, el del río Sabar es superior a ambos. Pero si este caudal de descarga es importante para la morfología del canal, y puesto que su obtención es estadística, la verificación de su frecuencia real es necesaria; ésta se realiza mediante gráficas de caudales acumulados y comprobando los datos en bruto de los que se han obtenido. Se computan las veces que se repiten en la serie caudales superiores al estimado y se relaciona con el total de casos (factor lambda de la distribución de Poisson). Así, las cuencas más pequeñas presentan mayor recurrencia del caudal de descarga, con presencia de caudales superiores a éstos del orden del 2 al 3% en la realidad: 12 veces al año en el río Almanchares y 10 en el Bermuza.

Menor es la recurrencia del caudal de descarga de las tres cuencas de mayor tamaño: Salía, Guaro y Benamargosa, todos con caudales superiores al de descarga, cifrada en un 0'9%, lo que significa en torno a 3 veces al año en Salía y Guaro y 4 veces al año en Benamargosa.

Por último, los ríos Sabar y Robite presentan la menor recurrencia, con un 0'6% de veces que se supera el caudal de descarga en el río Sabar y sólo un 0'3% en Robite, esto es, 2 veces al año en Sabar y sólo 0'9 veces al año en Robite: no se presenta todos los años.

Las consecuencias de estos periodos de retorno reales del caudal de descarga son claras: los ríos Almanchares y Bermuza, que deben salvar grandes desniveles en recorridos cortos (1.900 y 1.785 m., resp.), son los más susceptibles de modificar su colector principal con mayor celeridad, bien erosionando o bien depositando. La escasa presencia del caudal de descarga estimado en el río Sabar y, sobre todo, Robite, indica un fuerte peso de algunas crecidas que elevan la media por encima de la frecuencia real de tales caudales. Por último, los ríos Salía, Guaro y Benamargosa, acordes con sus dimensiones, son menos torrenciales, pese a los desniveles que también deben salvar, puesto que las estaciones de aforos están en áreas en las que el cauce presenta por una baja pendiente media. Probablemente, aunque no poseemos datos de aforo, la recurrencia de caudales de descarga sea similar a los ríos Bermuza y Almanchares en las cabeceras de los ríos Salía y Robite, a causa del fuerte desnivel que impone el macizo de Tejeda-Almijara...

Los periodos de retorno probables en cada cuenca muestran rectas de regresión muy diferentes, de modo que algunos ríos, en cortos periodos, presentan caudales inferiores a otros, mientras en largos periodos pueden superar los caudales de éstos con los que se comparan. Así, en función del volumen alcanzado por los caudales máximos en 24 horas,

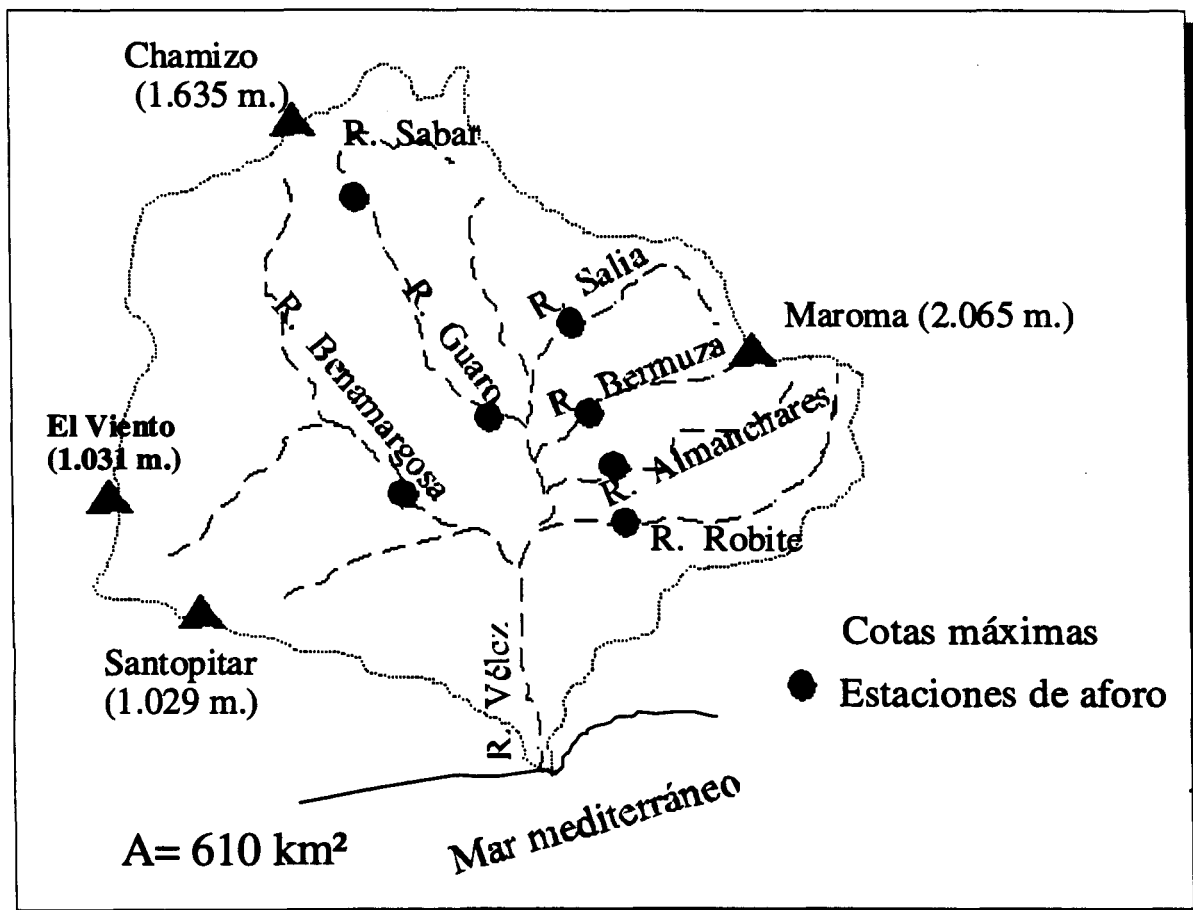


Figura 1.- Esquema de la cuenca.

se pueden diferenciar tres tipos de cuencas aforadas. Por una parte, aquéllas cuyo caudal medio de descarga anual no supera o lo hace escasamente el metro cúbico por segundo (Almanchares y Bermuza). Le siguen aquéllas con caudales en torno a $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sabar, Salia y Robite). Y finalmente, las dos cuencas mayores, cuyos caudales medios de descarga superan los $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Ordenadas de menor a mayor caudal, quedarían así: Almanchares, Bermuza, Salia, Robite, Sabar, Benamargosa y Guaro.

Sin embargo, al analizar los máximos periodos de retorno de este caudal característico, el orden se altera sensiblemente: cuencas como Salia o Benamargosa tienden a un incremento mayor del caudal en largos periodos de retorno. El orden, para una recurrencia de 1.000 años, quedaría como sigue: Almanchares ($16'2 \text{ m}^3/\text{s}$), Sabar ($28'1 \text{ m}^3/\text{s}$), Robite ($37'1 \text{ m}^3/\text{s}$), Salia ($39'1 \text{ m}^3/\text{s}$), Guaro ($93'7 \text{ m}^3/\text{s}$) y Benamargosa ($114 \text{ m}^3/\text{s}$). Ello indica mayor frecuencia de crecidas de dimensiones superiores al caudal medio de descarga en los ríos Salia y Benamargosa; es decir, que ante un periodo de retorno similar, el caudal máxi-

mo en 24 horas teórico que pueda alcanzarse es superior... La mayor frecuencia de eventos torrenciales, independientemente del suelo, genera mayor frecuencia de crecidas importantes.

La relación de los valores medios de estos caudales en cada estación con la superficie drenada es elevada ($R^2 = 0'925$), con un incremento de caudal de $0'0236 \text{ m}^3/\text{s}$ por km^2 , a partir de un valor constante de $0'183 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los máximos caudales instantáneos deben compararse con las precipitaciones con ciertas reservas, pues su responsable directo son las altas intensidades en corto periodo de tiempo, (valores pluviográficos y no pluviométricos). Pero precipitaciones en torno a $150\text{-}200 \text{ mm}/24 \text{ horas}$, o alcanzan una intensidad horaria continua superior a $6 \text{ mm}/\text{hora}$ a lo largo de todo el aguacero, o bien, como es habitual, descargan la mayor parte de este volumen en pocas horas, lo que puede llegar a alcanzar e incluso superar intensidades de $50 \text{ mm}/\text{hora}$.

La relación de los valores medios de tales caudales con respecto al área que ocupan es muy alta, superior a la de los caudales en 24 horas, debido quizá a que tales caudales se producen en situaciones de saturación total del suelo, a partir de los cuales las dimensiones de la crecida dependen tan sólo del tamaño del "vaso", con desviaciones impuestas sólo por la pendiente y forma del lecho.

Los periodos de retorno calculados para las crecidas muestran, como en los caudales máximos en 24 horas, rectas de correlación de los retornos diferentes en cada cuenca. Y al igual que en aquellos, los ríos Salia y Benamargosa, poseen tendencias a caudales más elevados que los restantes, añadiéndose aquí el río Almanchares, aunque no en igual grado. Se han calculado caudales máximos instantáneos en periodos de retorno de 1.000 años de entre 73'4 m³/s (Bermuza) y 612 m³/s (Benamargosa).

La realidad parece superar a las previsiones probabilísticas, cuando en una muestra de 44 años se superan periodos de retorno previstos para intervalos de tiempo muy superiores, debido a las altas desviaciones que suponen los valores máximos. Tales eventos máximos tienden a ser suavizados e incluso desestimados por las series estadísticas, cuando son protagonistas inmediatos de la transformación progresiva del relieve y, por tanto, es importante tenerlos en cuenta:

1989, río Almanchares: crecida instantánea con recurrencia en torno a 700 años; el río Bermuza supera los 1.000 años en la misma fecha; 1969, río Benamargosa: crecida con periodo de retorno de 180 años; 1977, río Salia, periodo de retorno cercano (190 años). En cambio, los ríos Sabar, Guaro y Robite no superan en ningún evento registrado en sus respectivas series periodos de retorno de 50 años.

Similares son las comparaciones entre la realidad y los periodos de retorno previstos para los caudales máximos en 24 horas, con los siguientes eventos reales y retornos aproximados: Almanchares, 1969, 950 años; Benamargosa, 1969, 95 años; Bermuza, 1955, > 1.000 años; Guaro, 1958, 115 años; Robite, 1978, 30 años; Sabar, 1968, 12 años; Salia, 1988, 115 años.

La distribución de Gumbel no parece ajustarse bien para el cálculo de los periodos

de retorno en áreas de montaña, puesto que son las cuencas más escarpadas en las que se producen las mayores desviaciones reales respecto al método probabilístico. Se pueden admitir periodos de retorno del orden de 100 o 200 años, en función de la serie, pero es exagerado asignar periodos tan largos para los ríos aquí analizados. Tales cuencas requieren el cálculo de caudales máximos por otros métodos.

Una aproximación al comportamiento hidrológico de las cuencas aforadas puede centrarse en el análisis de la respuesta de los caudales registrados en las estaciones de aforos ante los eventos torrenciales sucedidos en las estaciones pluviométricas próximas en días anteriores o en el mismo día.

2. RELACIÓN PRECIPITACIONES-CAUDAL

En otro capítulo de nuestra investigación se aborda la relación precipitación-caudal a partir de eventos reales.

Se seleccionaron todos los eventos pluviométricos de gran intensidad (>30 mm./24 h.) sucedidos en las estaciones pluviométricas de la cuenca desde 1949 a 1993, tabulándolos para conocer si fueron tormentas aisladas o generalizadas, pero su elevado número llevó a seleccionar sólo aquellos de intensidades superiores a 75 mm./24 h., aun a costa de perder información (algunos eventos de intensidad diaria inferior pudieron tener fortísima intensidad horaria); aún así, fue necesaria para 3 estaciones una nueva selección: sólo eventos superiores a 100 mm., pues son estaciones de gran torrencialidad media.

Un método semejante se siguió con los caudales, considerando el área aforada para segregar los máximos caudales (se aplicó un caudal de avenida característico a cada cuenca, según el cual se estimaba como avenida destacada). Posteriormente, se descartaron eventos cuyos caudales, pese a la intensidad de las precipitaciones, no alcanzaron una magnitud importante.

Finalmente, se obtienen dos tablas, en las que se recogen los efectos de 18 eventos torrenciales o temporadas de lluvias continuadas. Así, en la Tabla 2 se apuntan los efectos de cada uno de los eventos pluviométricos seleccionados; mientras que en la Tabla 3 se señalan los efectos hidrológicos que tuvieron

Estación	29-30/X/55	29/II-1/III/68	18-19/II/69	30/VIII-1/IX/69	29-30/IX/69	1-15/II/1970
Alcaicería	?	?	?	?	?	?
Alcaucín	7+180	(350)14+79+10	0+128	0+114	0+69	496 (109 m.)
Alfamate	?	?	?	?	?	?
Algarrobo	12+16+17	(153)+39,3+4,4	63,3+0,1	39,8+0,3	11,3+0,9	313 (57,2 m)
Benamargosa	9+167+46	(151)+44+8	110+2	0+59	0+37	298 (57 m.)
Benamocarra	2+8+22+62	(152)+48,2+6,5	98+0	54+2,3	54,5+0	288,7(38,7m)
Canillas Ace.	3+5+90+75	(195)+36+5	0+46,4	1,3+0	0	191,3(28,2m)
Casapalma	?	(285)+72,4+24	91+7	15,4+49+49	7+11,2	498,8(63,4m)
Colmenar	?	?	?	?	?	?
Comares	?	(153)+2,3+34,4	1+78,3+1	17,4+132	0	371,1(76,4m)
Cómpeta	4,5+7+22+56	(185)+54+7	88+27	0+5	0+60	411 (68 m.)
Cort.Monjas	?	?	?	?	?	?
Moclinejo	?	(183)+0+45,1	0+71	3+72	0+15	301,2 (49,2m)
Oñás	?	(139)+46+8,2	61,2+25,2	35+72,6	0	241,4 (47,8m)
Periana	16+136	(191)+53,5+9,5	88+0	0+172,5	0,5+74+12	313,8 (50m.)
Rincón de V.	?	(122,5)+34+3,5	62+9,5	0,6+58+0	7,5+0,5	233,5 (39m.)
Riogordo	?	?	?	?	?	?
Serranillo	?	(193)+57+20	84+2	124+30	46+12	309,5 (85 m.)
Vélez-M.	5,5+9+15+44	(112)+38+2	0	0+29	0+33,5	218,4 (49 m.)
Ventas de Z.	141+52+19	(373)+70	0+0+2+20	0	80+29	142,3 (69 m.)
Villanueva	10+16+48,20	(113,6)+51+16	50+2,3	76,5+0	36,5+6,5	218 (41,5m.)
Vifueña	3+10+80+90	(168,5)+47,5+0	0,5+75+13	0+61	0+91	260 (45 m.)

Estación	19-20/XII/73	31/XII/76 - 1/II/77	29-30/XII/77	18-19/II/1979	6-7-8/II/82
Alcaicería	2+96+7,5+0	(248)+25+67	30+50	23+90+49	220+192+40
Alcaucín	31+120	(558)+14+0	?	26+51+56	216+184+41
Alfamate	30+103+7,3	(250)+53,5+0	27+98+0	(17)+102+16	?
Algarrobo	4+55,1+2,8	3+24+27+14+0	46,2+0+0	10,3+2,5+0	110+38+7
Benamargosa	14+96+2	(225)+53,6+0	25+130	?	171+71,8+0
Benamocarra	7+77+3,5	(236)+17+0	20,7+119	12+69	145+55+8
Canillas	0	?	?	12,5+63+11	?
Casapalma	81+0	(74)+20+0	14+10+12	0+15	0+96+75+76
Colmenar	35,8+43,6	?	?	13,9+91+0	120+88,7+5
Comares	20+45+60	(206,3)+67,5+0	32+130+0	17+124+0	180+74+0
Cómpeta	?	(283,6)+29,2+0	54,2+72+0,6	8+4+4+60+5	70+63+0
Cortijo Monjas	16+80+8	(217,9)+32,5+0	24+101+0	16+100	0
Moclinejo	10+43+0	(219)+8+0	2,5+66,4+0	4+29,4+5,3	26+44,2+5,4
Oñás	8,2+74,2	(217)+30+22	?	15+67,4+57	130+53+13
Periana	30,3+60,2	(161)+59,3+26,6	38,2+106+0	?	70+68+15,6
Rincón	6,6+34+2	(201,7)+6,5+9	8+169+0	12+57+0	83+21+4
Riogordo	?	?	?	?	?
Serranillo	?	?	?	?	?
Vélez-Málaga	8+56+2+30	(234,5)+12+0	43+59+0	?	104+43+4
Ventas Zafar.	45+146+7	(313)+138+0+61	53+61+0	28+140+37	193+128+30
Vva. Trabuco	53+3,4	(111,8)+45,8+0	15,5+61+0	8,5+34,6+7	90+48+10
Vifueña	9+85+2	(276)+18+0	26+98+0	13+80+13	75+70+8

Tabla 2.- Máximos eventos torrenciales seleccionados.

Leyenda:

? = Se desconoce el volumen del aguacero en dicho día.

En negrilla se destacan los volúmenes del día (o días) de precipitación, mientras que aparecen en letra normal los días de lluvias anteriores o posteriores a los días seleccionados. Entre paréntesis figura el volumen total precipitado días antes del evento. Para I/1970, la cifra entre paréntesis es el volumen máximo en 24 horas dentro del período lluvioso de 15 días.

Elaboración propia (SENCIALES, 1995)

Estación	15-16/XI/83	27/II/84	29/VIII/87	3-4/XIV/87	14/II/88	26/XI/89	7/II/91
Alcaic.	5,5+108+34	106	14+16	90+102	30+102,4	500)+188,4	75+209,4
Alcaucín	6+59+157+39	9+124	?	?	?	(493)+267	?
Alfarn.	28+104+35,5	68,5	?	?	57	(237)+0	28+90+10
Algarr.	35+43+27,2	0	25,5	5+9+11	12+42	(202)+51	22+80+12
Benama.	30,7+90,5+14	78,5	67	8,6+47+34,5	?	(294)+157	38+74+16
Benamo.	35+90+8	109	24+44	7,5+26+11,5	21+43,5	(231)+72	24+67+10
Canillas	?	?	?	6+19+13	12+44,5	?	18+74+11
Casapal.	30+77,5+16	0+51,5	0+42,5+14	83+12,5	12,5+84	(228)+62,5	28+54+5
Colmen.	29+72+15	73,5+0	45+14	87+22	10+82	(223)+77,5	?
Comares	24+107+15,5	92	8+50	9+68+35	25+80	(265)+192	37+136+11
Cómpeta	24+76+17	47	3+14	20+22	13+0	(304)+62	127+14
Cortijo	32+86,5	66	?	?	?	?	?
Moclín.	40+49,3+41,5	2,7+76,2	14+48,6	1+8+33+15	?	(196)+96,5	?
Oífas	25,5+65+12,5	3,2+83,3	25+81	6,5+26+18	5+25+45	?	?
Periana	70+14	70	30	16,5+50+16	22,5+51	(227,5)+64	(170,5)0,0,0
Rincón	27+36+9	2+55	20+77	6,5+12,5+10	0+30+40	(160,5)+30	15+48+2
Riogord.	?	?	47	7+9+60+17	5,5+59	(274)+26	(3)0,0,0,0,0
Serranil.	?	?	?	?	?	?	?
Vélez	33+36,5+25	59,4+21	0,5+25	6,5+9+16,5	18+24,5	?	?
Ventas	28,4+45,5+34	62	2+27,5	7+65+61	35,5+71	(351)+123	1,43,150,10
Villanu.	19,5+16+12+4	36,7	20,3+29	?	0+16+40	(201,4)+36	35+64+4
Vifuela	27+68+18	0+21	0+35	4,5+30+23	0+15+43	?	26+97+8

Tabla 2.- (Continuación) Máximos eventos torrenciales seleccionados.

Leyenda:

? = Se desconoce el volumen del aguacero en dicho día.

En negrilla se destacan los volúmenes del día (o días) de precipitación, mientras que aparecen en letra normal los días de lluvias anteriores o posteriores a los días seleccionados. Entre paréntesis figura el volumen total precipitado días antes del evento. Para 1/1970, la cifra entre paréntesis es el volumen máximo en 24 horas dentro del periodo lluvioso de 15 días.

Elaboración propia (SENCIALES, 1995)

lugar en las estaciones de aforos como respuesta ante tales eventos.

A veces, los eventos pluviométricos seleccionados han sido, más una temporada de lluvias prolongada que un evento destacado en un solo día. En otras ocasiones, las lluvias tienen lugar en días diferentes en cada estación. Finalmente, hay casos en los que una temporada de lluvias prolongadas culmina con un evento torrencial que da lugar a una crecida importante.

Respecto a los caudales, el hecho de que la fuente de información tan sólo señale un máximo instantáneo al mes, da lugar a que, en algunos eventos, únicamente conozcamos el caudal medio diario que se produjo como respuesta ante el evento lluvioso, infiriendo que el caudal punta instantáneo debió ser, necesariamente, inferior al máximo mensual...

Sería necesario conocer los resultados de intensidad horaria en todo momento para estimar la capacidad real de infiltración y el coeficiente de escorrentía real del suelo. Ello llevaría a no poder estimar los efectos de la mayor parte de los aguaceros de nuestra área de estudio, pues los datos pluviográficos de que hemos dispuesto son externos a la cuenca.

Por ello, se aborda la capacidad de crecida de los ríos de modo indirecto, a partir del momento y forma en que tiene lugar un aguacero, para inferir así la posible respuesta hidrológica, sin perder la imagen general de funcionamiento de toda la cuenca y sus incidencias sobre la actividad humana.

El procedimiento es el siguiente: se analizan las precipitaciones de los días (y meses) anteriores al evento seleccionado y se estima el balance hídrico del momento. Luego se atiende a la situación atmosférica que dio

Estación	29-30/X/55	29/1-1/1/68	18-19/1/69	30/6-1/X/69	29-30/X/69	1-15/1/1970
Almanchares	0,88 (día 31)	4,126 (día 1)	6,302 (19)	0,352 (1)	41,777 (30)	5,554 (14)
Benamargosa	?	?	199,6 (19)	461,61 (1)	>44,27 (30)*	134,0 (3)
Bermuza	20,75 (29)	6,456 (1)	6,718 (23)	0,514 (1)*	18,284 (30)	8,764 (9)
Guaro	120,0 (29)	90,102 (1)	90,1 (19)	14,53 (1)*	141,71 (30)	139,79 (13)
Robite	70,0 (30)	75,442 (1)	53,001 (19)	93,701 (1)	> 9,53 (30)*	49,201 (14)
Sabar	?	44,869 (1)	7,605 (18)	1,488 (1)	>1,098 (29)*	52,504 (5)
Salia	10,3 (31)	64,751 (1)	54,215 (19)	0,85 (1)*	39,991 (30)	39,991 (13)

Estación	19-20/12/73	31/XII/76 - 1/1/77	29-30/XII/77	18-19/1/1979	6-7-8/XI/82
Almanchares	8,551 (23)	4,126 (1)	5,007 (30)	1,813 (19)	9,933 (7)
Benamargosa	49,2 (23)	82,68 (1)	202,0 (29)	157,7 (19)	137,0 (7)
Bermuza	15,5 (23)	7,598 (1)	11,54 (29)	>4,696 (19)*	14,3 (7)
Guaro	37,715 (23)	160,29 (31)	96,295 (29)	181,638 (19)	167,406 (7)
Robite	54,52 (23)	29,96 (19); >6,888 (1)	62,54 (29)	>4,848 (19)	53,0 (7)
Sabar	22,836 (23)	22,792 (1)	30,296 (29)	46,396 (19)	62,517 (7)
Salia	17,828 (23)	161,671 (1)	55,397 (29)	32,875 (19)	90,731 (7)

Estación	15-16/XI/83	27/1/84	29/VIII/87	3/XI/87*	14/1/88	26/XI/89	7/1/91
Almanc.	12,414 (16)	2,185(28)	0,156 (29)	0,156 (5)	1,264 (15)	70,56 (26)*	0,319 (7)
Benama.	119,0 (16)	28,892(28)	1,612 (29)	9,616 (5)	34,036(15)	206,8 (26)	130,0 (7)
Bermuza	12,46 (16)	1,115(28)	0,273 (29)	0,85 (5)	0,778 (15)	74,85 (26)	9,7 (7)
Guaro	122,448 (16)	9,652(28)	0,673 (29)	12,255 (5)	61,978(15)	?	?
Robite	53,76 (16)	16,6 (28)	0,128 (29)	0,152 (5)	2,4 (15)	85,6 (26)	21,94 (7)
Sabar	10,798 (16)	4,224(28)	0	7,335 (4)	15,84 (15)	18,308 (26)	39,52 (7)
Salia	56,575 (16)	4,52 (28)	1,141 (29)	0,744 (4)	37,045(15)	139,42 (26)	12,9 (7)

Tabla 3.- Máximos caudales instantáneos de la cuenca.

Leyenda:

? = Se desconoce el caudal alcanzado el día seleccionado. Entre paréntesis figura el día que tuvo lugar el caudal instantáneo. Para eventos en los que no se dispone de caudal instantáneo se señala el caudal medio diario, apuntando que el caudal instantáneo debió ser superior.

* Caudal medio diario

* Caudal medio diario

*XII/87, caudal medio diario. Almanchares, XI/89, deja de tomar datos la estación por avería.

Elaboración propia. (SENCIALES, 1995)

lugar a las precipitaciones, con objeto, además de conocer los efectos, deducir el/los tipo/s de tiempo que suele/n producir tales fenómenos en el área de estudio. Por último, se atiende al desarrollo del evento (o temporada) desde el punto de vista pluviométrico y del caudal, analizando la importancia en el total de precipitaciones anual y en el caudal generado. Finalmente, se realizan algunas comparaciones a nivel provincial.

Análisis de eventos.

A la hora de analizar los eventos, hemos contado con numerosos sucesos, tanto de crecidas como de precipitaciones torrenciales. Por una parte, hemos desestimado gran número de crecidas, algunas importantes, por no tener correspondencia en las restantes estaciones de aforos, es decir, era un evento aislado, como respuesta a una probable tormenta local. Por otra parte, hemos desestimado bastantes aguaceros por que su incidencia era, igualmente, local, o bien, por que, aun siendo generalizados, no se correspondían con crecidas importantes; no obstante, de este tipo hemos seleccionado algún evento.

El conocimiento de algunas fechas exactas de aguaceros, de su desarrollo y de sus efectos, nos llevó a buscar sus repercusiones en la cuenca del río Vélez. Este es el caso de algunos eventos importantes que recordábamos como testigos directos de los mismos:

- XI-1982, cuyo desarrollo pudimos observar en los Montes de Málaga, y del que hemos encontrado clara correspondencia en la cuenca del río Vélez.
- 2-X-1988. Episodio torrencial virulento en la cuenca baja del Guadalhorce (con víctimas mortales) pero sin correspondencia en la cuenca del río Vélez. Sólo Colmenar (O. de la cuenca) registró más de 30 mm., siendo escasas o nulas en el resto de las estaciones.
- 13-X-1989. Evento torrencial con máxima intensidad en Algarrobo, pero que discurrió a lo largo de la cuenca del río Vélez (subcuenca del río Benamargosa) con abundante aparato eléctrico, aunque con escasas precipitaciones (sólo se superan

los 75 mm. en Algarrobo) y que es rápidamente evaporado con el calor de octubre.

- 14-XI-1989. Las consecuencias de dicho evento son de sobra conocidas en la ciudad de Málaga y en buena parte de la cuenca baja del Guadalhorce, con intensidades horarias de hasta 50 mm. ⁽³⁾. Apenas se registró en el este de la ciudad de Málaga, mientras la zona oeste quedó totalmente inundada. En la cuenca del río Vélez (al E. De Málaga) ocurrieron precipitaciones apenas torrenciales y como ejemplo podemos citar los 12 litros de Rincón de la Victoria. En días posteriores se generalizan las precipitaciones la provincia, con intensidades similares, hasta que, en el día 26 se presenta el gran aguacero analizado en estas fechas y cuya intensidad apenas se notó en la zona oeste de la ciudad de Málaga, pero sí en su zona oriental.
- 21-X-1990. Fuerte tormenta con graves daños en la contigua comarca de Zafarraya, aunque sólo superó los 75 mm. en Comares (centro de la cuenca). Tuvo lugar la noche del 20 al 21-X y provocó una onda de avenida significativa (8'4 m³/s) en el río Salia el día 22; pero fue apenas importante en el resto de las estaciones pluviométricas y de aforos de la cuenca.

Señalamos estos eventos adicionales para llamar la atención sobre las diferentes intensidades de algunos aguaceros, que llevan a considerar con reservas los datos de pluviógrafo. Así, mientras el aguacero del 6 al 7-XI-82 tuvo idéntica repercusión en Málaga y en la comarca de la Axarquía (donde se inscribe el río Vélez), los aguaceros antes señalados tuvieron desarrollo muy diferente, localizándose sólo en un entorno muy delimitado.

De este modo, el aguacero del día 2-X-1988 se desarrolló especialmente en la ladera norte de las sierras de Mijas y Alpujata, así como al este de la S^a de las Nieves, es decir, en el sector suroccidental del valle del Guadalhorce; mientras en Málaga apenas tuvo repercusiones, y mucho menos en la cuenca del río Vélez.

El aguacero del 14-XI-1989 se dejó notar en todo el sector occidental de los Montes de Málaga y fondo del valle del Guadalhorce, en tanto que apenas se sintió en otras zonas.

(3) Intensidad recogida en la Estación de Cortijo Robledo, según RUIZ SINOGA et al. (1991).

Destaca sobre todo, Fahala (municipio de Cártama), con 230 mm., Álora (210), Pizarra (158 el día 13 y 151 el día 14), Alhaurín de la Torre (170 mm.) y Almogía (160 mm.).

Finalmente, el aguacero, comentado más arriba, del 26-XI-1989 fue más generalizado, sobre todo en áreas montañosas como la Serranía de Ronda: 185 mm. en Cortes de la Frontera, 166 mm. en Cartajima, 155 mm. en Ojén, 153 mm. en Coín, 132 mm. en Alhaurín de la Torre, 115 mm. en Contadoras y 113 mm. en El Cerrado (ambas en los Montes de Málaga), extendiendo su mayor virulencia hacia el entorno de la Sierra Tejeda-Almijara, mientras el fondo del valle del Guadalhorce, aun con intensidades importantes, no supera los 100 mm. en la mayoría de las estaciones. Estaciones granadinas como Lentegi e Itrabo, en el sector oriental de la sierra de Almijara, registran ese día aguaceros de 113'5 y 89 mm., respectivamente.

Por tanto, mientras el día 14-XI-89 se centró en el fondo de valle, el día 26 destacó principalmente en áreas más montañosas aunque hasta un límite latitudinal: p.ej., en Alfarate (N. de la cuenca) no llovió (¿error de datos?: el río Sabar tampoco registra una gran crecida) y en Vva. del Trabuco (idem, fuera de la cuenca) sólo se alcanzaron 36 mm..

Las precipitaciones torrenciales más importantes registradas en esta zona, suelen coincidir con flujo procedente del tercer cuadrante, habitualmente asociado a bolsas de aire frío en altura en cualquier época del año, o bien a frentes de gran actividad, destacando entre éstos la oclusión como mecanismo de disparo de las masas de aire húmedas hacia posiciones atmosféricas más frías. También es indicativa la existencia de un fuerte gradiente barométrico en altitud, que mueve las masas de aire de forma más acelerada, correspondiendo este gradiente, en general, al ramal ascendente de vaguadas planetarias generadas en el nivel de 500 mb. .

En cuanto a los efectos producidos, se alcanza su mayor repercusión cuando se combinan tres características del evento:

- Torrencialidad: valores superiores a 75 mm./día combinados con una presumible alta intensidad horaria.

- Intensidad generalizada: registro de grandes volúmenes en la mayor parte de los pluviómetros.
- Saturación del suelo o, por el contrario, carencia absoluta de reservas hídricas en el mismo, lo que da lugar a una escasa infiltración ante intensidades pluviométricas elevadas (taponamiento de poros).

La combinación de los tres hechos produce necesariamente importantes ondas de avenida, con variaciones dependientes del coeficiente de escurrentía correspondiente a cada cuenca en función del sustrato. De los eventos torrenciales seleccionados, ocho son producidos por frentes activos, cuatro por gotas frías, dos por familias de borrascas, y otros dos por frentes ocluidos, mientras que en dos casos se presentan combinaciones de fenómenos: gota fría-familia de borrascas (26-XI-1989) y gota fría-frente ocluido (29-XII-1977).

La presencia de tales fenómenos torrenciales no es, en absoluto, excluyente, pues un frente ocluido puede ser, a su vez, un frente activo, e ir asociado a una familia de borrascas y/o estar acompañado por un embolsamiento de aire frío en altura. La combinación de todos los fenómenos ha podido darse en temporadas destacadas como I-1970 y XI-1989, dando lugar a importantes volúmenes de precipitación a lo largo de varios días, pero no necesariamente elevadas intensidades horarias.

La mayor frecuencia de gotas frías con aguaceros intensos suele situarse a final del verano o durante el otoño, épocas en que normalmente el suelo carece aún de humedad y de reservas hídricas; por ello, este fenómeno atmosférico suele dar lugar a importantes avenidas sobre suelo seco o, por el contrario (con más frecuencia), simplemente pasan a equilibrar el balance hídrico del suelo.

Los frentes y borrascas activas, usualmente tienen lugar a finales del otoño o durante el invierno, época en la que la circulación ciclónica suele afectar con mayor frecuencia a las latitudes del sur peninsular; con lo que estos fenómenos atmosféricos generan los mayores aportes hídricos hacia los caudales; no obstante, no suelen ocasionar avenidas de largo periodo de retorno.

Para que se den estas avenidas, como señalamos, deben coincidir varios fenómenos, y, por una parte, ello es infrecuente, pero por

otra, si sucede, puede darse en cualquier época del año; no obstante, son el otoño y el invierno las estaciones astronómicas en las que con mayor frecuencia parece haberse producido la conjunción de fenómenos atmosféricos en el área de estudio.

Así, de los eventos seleccionados, se dan: dos en verano, siete en otoño y los nueve restantes durante el invierno (4). Este hecho indica que, aunque estadísticamente la época en la que con mayor frecuencia se suelen presentar eventos torrenciales es el otoño, los que tienen una mayor repercusión hidrológica se presentan con mayor frecuencia en invierno, época en que habitualmente el balance hídrico del suelo es excedentario y, por tanto, la capacidad de infiltración ha de ser menor. En la tabla nº 4 se resumen las situaciones atmosféricas y efectos teóricos de los dieciocho eventos comentados.

El Caudal máximo soportable.

Un capítulo de este trabajo que extraemos aquí es la estimación del caudal máxi-

mo soportable por las secciones de control tomadas en la cuenca (próximas, aunque no inmediatas a las confluencias de los ríos principales), en las que se incluyen numerosas áreas de la cuenca no aforadas:

Conocer el caudal máximo soportable por una sección de cauce es fundamental para estimar la inundabilidad de los terrenos anejos. En cauces encajados en las paredes rocosas de un valle, el caudal máximo soportable puede alcanzar límites improbables; sin embargo, en áreas donde existen terrazas aluviales o llanuras de inundación el riesgo de que una avenida ocupe nuevamente estas áreas deposicionales permanece latente.

Para calcular el caudal máximo soportable en las secciones de control se utiliza la fórmula propuesta por MANNING (5):

$$Q = 1/n \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Donde

Q = caudal en m³/s

S = sección mojada del cauce en m²

R = Radio Hidráulico (sección en m² / perímetro en m.)

Evento	Situación atmosférica	Efectos teóricos
31/VIII/1969	"Gota Fría" + Levante	Aguacero sobre suelo seco
6-7-8/XI/1982	Frente ocluido	Aguacero sobre suelo seco
29/VIII/1987	"Gota Fría" + Levante	Aguacero sobre suelo seco
29-30/X/1955	"Gota Fría" + S.-SO.	Recarga de la reserva
29-30/X/1969	"Gota Fría" + SO.	Recarga de la reserva
27/II/1984	Frente ocluido	Recarga de la reserva
3-4/XII/1987	Borrasca activa	Recarga de la reserva
18-19/II/1969	Frentes activos	Aguacero de escorrentía*
18-19/XII/1973	Frentes activos	Aguacero de escorrentía*
15-16/XI/1983	Frentes activos	Aguacero de escorrentía*
14/I/1988	Frentes activos	Aguacero de escorrentía*
7/III/1991	Frentes activos	Aguacero de escorrentía*
29/II-1/III/1968	Frentes activos	Aguacero de avenida
1-15/I/1970	Borrascas activas	Aguaceros de avenida
31/XII/76-1/1/77	Frentes activos	Aguacero de avenida
29-30/XII/1977	"Gota Fría"+Frente ocluido	Aguacero de avenida
18-19/I/1979	Frentes activos	Aguacero de avenida
26/XI/1989	"Gota Fría"+Borrasca Activa	Aguacero de avenida

Tabla 4.- Relación de efectos de eventos torrenciales y situación atmosférica.

(*) El término aguacero de "escorrentía" se define en PERLES y SENCIALES (1994) como aguacero que satura el suelo y puede generar ondas de avenida, aunque de importancia variable y de menor generalización que los denominados "de avenida".

(Elaboración propia: SENCIALES, 1995)

(4) En este caso hacemos referencia a las estaciones astronómicas, concluyendo el verano el 21 de septiembre y el otoño el 21 de diciembre. Si lo analizamos en función de las series pluviométricas, uno de los eventos, que tuvo lugar a finales de septiembre, se incluiría en el verano, en lugar del otoño.

(5) Fórmula de MANNING, tomada de A. BENÍTEZ (1972).

i = pendiente del lecho del río en m./m.
n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

La diferencia de esta expresión respecto al cálculo de la velocidad del caudal radica únicamente en considerar doblemente la sección del cauce: sección y radio hidráulico (S/X).

Para su aplicación son necesarios dos criterios diferentes según la morfología del cauce:

- para cauces con márgenes deposicionales, sección y perímetro han de alcanzar el límite a partir del cual el caudal puede desbordarse.
- para cauces encajados en las paredes rocosas de un valle, los límites, que podrían ser desproporcionados, han de buscarse en indicios: material removido, restos orgánicos sobre la vegetación de los márgenes, o límite de la vegetación ripícola. A partir de tales indicios ha de ser realizada la topografía del cauce, que, en caso de ser rebasada su sección, tampoco alcanzará consecuencias graves, salvo si su volumen y fuerza pueden modificar la morfología del lecho, especialmente aguas abajo, donde el valle presente áreas deposicionales utilizadas por la actividad humana.

La expresión expuesta es de gran utilidad para conocer el límite máximo alcanzado por crecidas históricas, pues, a partir de datos históricos o de indicios de áreas inundadas, puede trazarse la topografía de la lámina de agua alcanzada y, con ello, estimar el caudal. No obstante, la energía de una onda de avenida es capaz de alcanzar límites superiores a los estimados por esta fórmula, especialmente en las márgenes cóncavas de los valles ⁽⁶⁾. También es necesario añadir que la energía erosiva del caudal es capaz de modificar la sección del cauce, alcanzando límites superiores lateralmente al socavar los márgenes.

A partir de los datos tomados en las secciones de control... y tomando como pendiente del lecho la del tramo inmediato de

cauce de la cuenca-unidad de diagnóstico, se han calculado los caudales máximos soportables (m³/s):

Sedella	25'45	Seco	132'57
La Fuente	43'50	La Morra	148'41
Mineral	56'29	La Cueva	193'57
El Alcázar	65'40	Almáchar	205'80
La Caldera	69'45	Salares	207'76
Las Cañas	91'58	Puente Piedra	236'43
Almanchares	97'20	El Borge	267'45
Bermuza	104'02	El Suque	292'62
Guaro	120'60	Cútar	364'27
Iznate	133'13		
Almáchar	446'09	Benamargosa	702'59
Robite	469'79	Guaro	780'45
Vélez	1.468'00	Benamargosa	1.965'00
		Vélez (delta)	683'88

Estos resultados señalan que en algunas secciones de control la inundación es, teóricamente, imposible, al comparar caudal punta instantáneo máximo real con máximo soportable. En otros casos, la posibilidad de rebasar el límite calculado no incide en una inundación real, pues se trata de lechos de valles encajados, capaces de soportar, al menos en el punto de control, crecidas de cualquier dimensión. A partir de los caudales teóricos calculados mediante la fórmula del S.C.S. para estimación de caudales punta, se ha estimado el aguacero de proyecto necesario para alcanzar los caudales que colman las secciones de control...(que omitimos por no extendernos en exceso).

Un ejemplo destacado es que el río Vélez, en el área de apertura de la vega presenta un caudal máximo soportable difícil de alcanzar; sin embargo, ya en su delta, los 683'88 m³/s se alcanzan con cierta frecuencia, lo que pudimos comprobar en 1996, con posterioridad a esta investigación (SENCIALES, 1999), con un caudal estimado en ese punto en torno a 1.300 m³/s, lo que supuso, evidentemente, desbordamiento y que se anegara el área del delta del río Vélez.

⁽⁶⁾ La avenida del río Benamargosa en XI-1989 afectó al núcleo urbano de Benamargosa, para lo cual sería necesario un caudal muy superior al máximo alcanzado en aquella fecha (206'8 m³/s en la estación de aforos, 3 km. aguas arriba). La localización de este núcleo de población junto a la sección cóncava de un meandro del río homónimo explicaría su inundación (también la incidencia de pequeños arroyos). Esta posibilidad se presenta también en el análisis de las áreas inundadas por el Guadalhorce en esas mismas fechas (según investigaciones de G^a MANRIQUE para el Servicio de Protección Civil del Ayto. de Málaga).

3. ANÁLISIS DEL EFECTO POTENCIAL Y REAL DE INUNDACIONES DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO VÉLEZ: EL CASO DE BENAMARGOSA.

Respecto a este trabajo, decir que, se empleó una metodología semejante a la antes expuesta, si bien en un territorio mucho más reducido insertado en la propia cuenca del río Vélez. De él sólo destacaremos algunos datos interesantes:

- En el núcleo de población de Benamargosa, a orillas del río homónimo y atravesado por un pequeño arroyo de menos de 1 km² de superficie (96'2 Ha.), el arroyo del Limón, se constata una alta probabilidad de precipitaciones intensas (media de más de 5 eventos al año superiores a 30 mm./día, sobre un total de 546'3 mm. de media anual), habiéndose registrado en 52 años tres eventos de más de 150 mm. en 24 h..
- Analizando las características de la cuenca y del pueblo, con una deficitaria infraestructura para pluviales, se analizan las secciones de cauce, hoy día secciones de calle y se deduce que, en algunas zonas, con intensidades horarias inferiores a 35 mm., pueden llegar a formarse láminas de agua de hasta 40 cm. de altura, lo que entendemos como "peligro de inundación", al menos en las casas del pueblo.
- Se concluye la posibilidad de resultar afectados en mayor o menor grado 34 viviendas anejas al propio arroyo y 28 más cercanas al mismo; 8 comercios anejos al arroyo y 7 más cercanos al mismo; 24 recintos (corrales, locales, etc.) anejos al arroyo, así como 4 más cercanos (en calles laterales). Se estima una población de 235 personas potencialmente afectables por la inundación de este arroyo (14'8% de la población total del municipio). A la fecha del estudio (1998), no se han llevado a cabo más medidas que ampliar las tuberías de pluviales un centenar de metros cauce arriba, aunque con un diámetro de un metro, escaso si tenemos en cuenta el material removido que se moviliza en una cuenca escarpada con viñedos: creemos que existe riesgo de obturación incluso por parte de diques en mal estado cuenca arriba.

REFERENCIAS

Benítez, A. (1972): *Captación de aguas subterráneas*, Madrid, Ed. Dossat, S.A.

Perles Roselló, M^a J. y Senciales González, J.M^a, (1994): Cartografía de la erosividad de las precipitaciones a partir del análisis de sus efectos sobre el balance hídrico. En *Perfiles Actuales de la Geografía Cuantitativa en España*. Actas VI Coloquio de G^a Cuantitativa. Málaga: 153-164

Ruiz Sinoga, J.D. (1991): *Metodología para el diseño de actuaciones agrohídricas en las cuencas del ámbito mediterráneo. Los arroyos orientales de Málaga capital*. Monografía n^o 53. Proyecto LUCDEME. MAPA-ICONA. Madrid.

Senciales González, J. M^a y Perles Roselló, M^a J., (1994): Análisis del riesgo de precipitaciones intensas en la cuenca del río Vélez (prov. de Málaga). En *Perfiles Actuales de la Geografía Cuantitativa en España*. Actas VI Coloquio de G^a Cuantitativa. Málaga: 215-226.

Senciales González, J.M^a (1995): *La cuenca del río Vélez. Estudio Hidrográfico*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Senciales González, J.M^a (1997): La cuenca del río Vélez. Evolución y dinámica fluvial. En Senciales, J.M^a y Ferre, E., Coords. (1999), *Elementos de los paisajes de la provincia de Málaga*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.

Senciales González, J.M^a y Pérez Gutierrez, J. (1998): Riesgos de inundación en núcleos urbanos: el caso de Benamargosa (provincia de Málaga). En Gómez Ortiz et al., *Investigaciones recientes de la Geomorfología Española*. Actas de la V Reunión Nacional de Geomorfología. Granada: 677-687.