

MAGNITUD Y FRECUENCIA DE SUCESOS HIDROMORFOLÓGICOS DEL BAJO SEGURA ANTERIORES A SU ENCAUZAMIENTO

Carmelo Conesa García'
Pablo Martínez-Alcocer Serrano

RESUMEN

Durante el presente siglo, y hasta el inicio de las obras de encauzamiento del Bajo Segura, éste ha mantenido un estrecho cauce meandriforme, protegido por motas y malecones, pero vulnerable a desbordamientos que controlaban localmente su geometría y afectaban a amplios sectores de la llanura de inundación. Los ajustes morfológicos de este sistema fluvial, a corto plazo, están principalmente dominados por la ocurrencia de sucesos hidrológicos extremos que provocan alteraciones globales y aportan grandes cargas de sedimentos. Los cambios menores, originados en el interior del cauce, corresponden a caudales moderados que, a diferencia de los sucesos anteriores, reflejan las características de un régimen modificado. En este trabajo se analizan los diferentes sucesos hidrológicos ocurridos en el Bajo Segura durante el periodo 1963-86, agrupándolos en cuatro categorías según su efectividad geomorfológica: 1) corrientes de desbordamiento, 2) flujos de régimen alto (*bankfull*), 3) caudales moderados, y 4) aguas bajas. Establecidos los umbrales mínimos de caudal para cada una de estas clases, se aborda su estudio frecuencial y probabilístico, comparando los valores observados con los obtenidos por modelos teóricos de distribución de probabilidades (p.e. distribución EVI de Gumbel).

Palabras clave: Bajo Segura, geometría del cauce, sucesos hidromorfológicos, régimen fluvial, magnitud, frecuencia, tiempo de retorno.

ABSTRACT

In this century, before the canalization works, the Lower Segura had a narrow channel with a semi-stable meandering planform, protected by embankments, but it was vulnerable to the overflows, which control locally its geometry and affect to the flood-plain. In the short-term, the morphological adjustments of this fluvial system are mainly dominated by the occurrence of extreme hydrological events, causing overall changes and carrying out large sediment discharges. Small adjustments into the channel belong to moderate discharges

* Dpto. de Geografía, Facultad de Letras, Universidad de Murcia, Campus de la Merced, 30001 - Murcia (España).

which, on the other hand, reflect the features of modified regime. This work shows the different hydrological events produced in the Lower Segura along the period 1963-86. Four classes are established according to their geomorphological effectiveness: 1) overbank flows, 2) bankfull conditions, 3) moderate discharges, and 4) low flows. After defining the discharge thresholds for each class, a frequency and probability analysis is taken, relating the observed values with the obtained by theoretical probability distributions (e.g. Gumbel extreme value type 1 (EVI)).

Key words: Lower Segura. channel geometry, hydro-morphological events. fluvial regime, magnitude. frequency, recurrence interval.

INTRODUCCIÓN

La carga de sedimentos transportada por un río y la erosión producida en el lecho y márgenes de su cauce determinan una situación de equilibrio en relación con las características del medio físico en que se desarrolla. La naturaleza de este equilibrio, definido indistintamente como «*equilibrio dinámico*», «*cuasi-equilibrio*», «*estado estable*», «*gradual*» y «*de régimen*» (Dury, 1966; Blench, 1969; Hickin, 1974), puede establecerse considerando la efectividad geomorfológica de los sucesos hidrológicos a distintas escalas temporales. La respuesta morfológica de los cauces aluviales a las variaciones de caudales de agua y sedimentos es muy diferente a largo, medio y corto plazo. La alteración, a largo plazo, de las condiciones medioambientales (clima, hidrología, topografía, suelos, cobertura vegetal,...) provoca en el sistema fluvial ajustes graduales y progresivos, que tienden a mantener una situación de equilibrio. A esta escala de tiempo, Schumm (1975) sugiere un equilibrio de régimen discontinuo —*equilibrio dinámico, metaestable*— influido por umbrales que controlan la dinámica general de la corriente. Por ejemplo, un ahondamiento del cauce principal causado por una bajada del nivel marino implica un rejuvenecimiento de sus afluentes, que incrementa la producción y aporte de sedimentos al mismo. Eventualmente, se alcanza un umbral de pendiente en el curso principal y comienza una nueva fase de degradación. A partir de entonces se produce una variación cíclica moderada en la transferencia final de sedimentos, hasta recobrar de nuevo su antiguo perfil de equilibrio.

Los ajustes del sistema a medio plazo se hallan frecuentemente forzados por actividades humanas que originan un desequilibrio temporal en el cauce. El cambio en el transporte de sedimentos es, en este caso, un umbral interpuesto, de carácter transitorio, más que una tendencia continua. Estas modificaciones inducidas por el hombre incluyen *efectos directos* causados por medidas de gestión, obras de acondicionamiento del río y regulación de sus caudales, y *cambios indirectos* asociados a alteraciones en los usos del suelo de la cuenca, cuya repercusión en la producción de sedimentos y escorrentía genera nuevas condiciones medioambientales a las que el sistema fluvial termina adaptándose (Park, 1981; Morisawa, 1985).

A corto plazo, el cauce y la llanura de inundación pueden ser afectados por sucesos hidrológicos extremos, aislados en el tiempo. En ocasiones, sus efectos resultan catastróficos, siendo capaces de introducir cambios globales en el sistema fluvial. Los cursos más

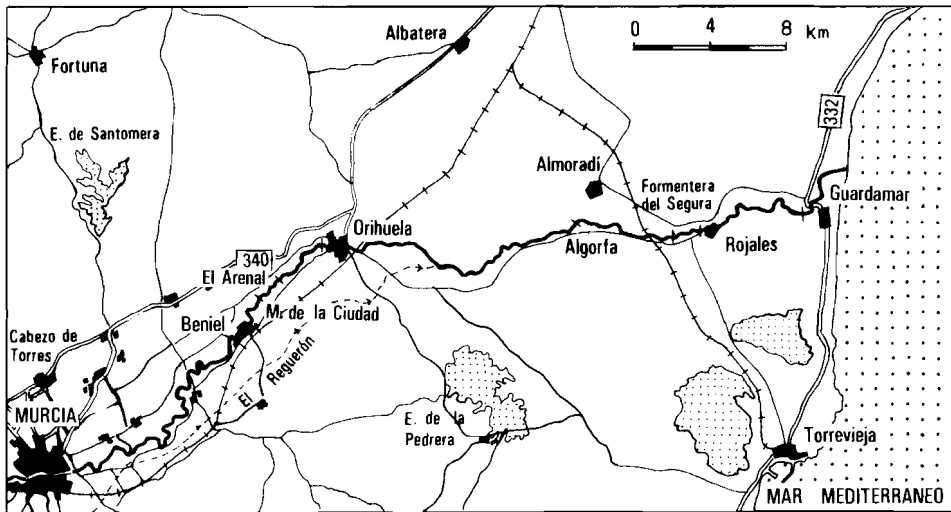


FIGURA 1. Localización de las secciones de estudio en el tramo bajo del Segura.

sensibles a este tipo de sucesos son los pertenecientes a medios semiáridos, caracterizados por un régimen irregular, a menudo torrencial, y una escasa o nula fitoestabilización de los márgenes fluviales (Wolman y Gerson, 1978; Hupp y Simon, 1991). La efectividad geomorfológica de estas corrientes depende directamente de su magnitud y frecuencia. Los sucesos mayores producidos en el Bajo Segura (grandes avenidas e inundaciones) son los menos frecuentes, pero los más efectivos en términos de transporte total de sedimentos y modificación morfológica del cauce. Los sucesos menores, mucho más reiterativos, determinan variaciones locales dentro de los cambios globales generados por aquéllos.

FACTORES MODIFICADORES DEL RÉGIMEN

Con anterioridad a la canalización del tramo entre la Contraparada y Guardamar, iniciada en 1989, el cauce del río Segura se hallaba constreñido por taludes y malecones poco consolidados, mostrando la apariencia de un cauce semiartificial inestable. Sus frecuentes roturas, en épocas de avenidas, originaban cambios y ajustes morfológicos de cierta consideración, provocando, en casos extremos, alteraciones locales de su trazado. La meandrización, durante el presente siglo, ha estado en parte controlada por los dispositivos de protección contra inundaciones (obras de regulación, canales de derivación, recrecimiento de los márgenes, etc.), que han impedido una libre migración del cauce. Por otra parte, el área de su sección transversal ha disminuido sustancialmente, como consecuencia de la construcción, en las primeras décadas de siglo, de embalses de cabecera que han supuesto un importante efecto laminador de las avenidas. Al reducirse el riesgo de desbordamiento, los agricultores han ocupado toda la llanura de inundación, dedicándola generalmente a cultivos de alto rendimiento y reduciendo la anchura del cauce a 35-40 m en su coronación.

A la salida del núcleo de Murcia, la pendiente del cauce es muy pequeña y éste se estrecha de forma considerable, siendo incapaz de transportar más de 180 m³/s (Botía Pantoja, 1992). Aguas abajo, la capacidad del cauce del río Segura en algunos tramos quedaba reducida a unos 120 m³/s (proximidades de Orihuela y Rojales) y puntualmente a unos 100 m³/s (p.e. El Arenal). Por su reducido tamaño y la pendiente tan débil del lecho, estas secciones han sido objeto de numerosos desbordamientos a lo largo del presente siglo. El recrecimiento de las motas (2-3 metros sobre el lecho episódico de inundación) resultaba también insuficiente para contener caudales punta superiores a 150 m³/s. Incluso el apilamiento de sacos terreros sobre las motas era una práctica de mantenimiento precaria, de eficacia relativa, que a menudo sólo lograba demorar el desbordamiento del río.

Otro factor que, desde muy antiguo, ha alterado también el régimen natural del río es la intensa utilización de sus aguas para riego (Calvo García-Tornel, 1982). Desde Calasparra hasta la desembocadura del Segura en Guardamar se extiende un amplio rosario de huertas que agrupan más de 85.000 Has de superficie. El área afectada por este regadío axial, considerado de alcance medio, presenta una tupida red de acequias que sangran las aportaciones propias y foráneas del río Segura. La existencia de un subsuelo impermeable próximo a la superficie (arcillas y limos depositados, durante siglos, por las avenidas de este curso), ha llevado a establecer un sistema tradicional de drenaje de las tierras regadas (aguas muertas), integrado por «azarbetas», «ladronas», «azarbes» y «meranchos».

Aguas abajo del Azud de Ojós, parten las acequias de Archena, Alguazas, Lorquí y Mayor de Molina. A partir de la Contraparada, se desarrolla un imbricado sistema de derivaciones, que tiene como canales principales la Acequia Mayor del Norte y la Acequia Mayor del Mediodía.

Por la margen izquierda, la Acequia Mayor del Norte discurre próxima al cauce del Segura, tomando el nombre de Acequia de Benetúcer después de atravesar Murcia; tras recorrer Puente Tocinos adopta el nombre de Benefiár y, 5 kms aguas abajo, pasa a denominarse Acequia de Raal Viejo o Beneluz. Junto a ella, riegan la zona norte de la huerta murciana las acequias Vieja de Churra, Zaracho, del Chopo, Domingo y de los Giles. Como acequias menores figuran, entre otras, las de Beniscornia, Caravija, Bendamé, Nácar, Zaraiche, Santiago, Nelva y Aljada.

Por la margen derecha del río, la Acequia Mayor del Mediodía recorre 22,5 kms, bajo distintas denominaciones (Barreras, Alfande, Benicotó, Benicomay), riega una amplia franja entre Alcantarilla y Alquerías, y vierte finalmente en el Azarbe de Beniel. De ella parten las acequias menores de Turbedal, Alcantarilla, Beniján, Alguazas, Junco, Alarilla, Daba, Santarem, Menjalaco, La Raya, Albalate, Albadel, Gabaldón, La Herrera y Villanueva. Otras derivaciones próximas de primer orden, situadas en la franja meridional, son las acequias de Zeneta, Ladrona, Gironda y Beniel.

CARACTERÍSTICAS DEL RÉGIMEN MODIFICADO

El cuadro 1 muestra los datos estadísticos básicos relativos a las series de aforos analizadas para el Bajo Segura en el período 1963-86 (CEDEX). La base de datos, compuesta de 6.574 a 8.400 registros diarios, según las estaciones, ha sido procesada

mediante el programa estadístico **BMDP4F**, dando como resultado módulos de caudal muy bajos (de 5.56 m³/s en Beniel a 1.21 m³/s en Guardamar), caudales máximos extraordinarios superiores a 200 m³/s, valores de desviación típica (*St.D.*) moderados, de acuerdo con un prolongado período de aguas bajas (Q_{25} = 6.9-7.8 m³/s aguas arriba de la confluencia del Reguerón; Q_{75} = 0-2.1 m³/s en el tramo Rojales-Guardamar) y coeficientes de disimetría (S_{sk} , S_w) relativamente bajos, que reflejan la homogeneidad del régimen hidrológico modificado.

CUADRO I
 Estadística sobre los registros diarios de aforo en el Bajo Segura

Estación	Periodo análisis	N° reg.	Caudales					Parámetros estadísticos					
			med.	máx.	min.	Var.	St.D.	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	S _w	S _{sk}	
Beniel	1968-86	6574	5.56	160.0	0.0	31.74	5.63	2.76	4.44	6.92	0.40	8.82	
Onhuela	1964-86	8033	6.50	243.1	0.0	48.03	6.93	4.06	5.92	7.84	0.52	14.49	
Rojales	1963-86	7848	2.59	210.1	0.0	61.00	7.81	0.25	0.65	2.12	0.12	13.05	
Guardamar	1963-86	8399	1.21	212.1	0.0	52.31	7.23	0.00	0.00	0.00	0.00	15.55	

Var. = Varianza; St.D. = Desviación Standard; Q₂₅ = Cuartil del 25 % de registros; Q₅₀ = Cuartil del 50 % o mediana; Q₇₅ = Cuartil del 75 %; S_w = Índice de Trask; S_{sk} = Índice de Skewness.

El considerable aumento de la superficie regada, la sucesión de períodos secos prolongados y la necesidad de almacenar agua en previsión de sequías extremas han hecho disminuir sustancialmente los valores modulares registrados desde principios de siglo. En Abarán, por ejemplo, el módulo del río pasó de 24.3 m³/s, en el primer tercio de siglo, a 14.5 m³/s en el período 1958-1970 (*Servicio de Aforos de la C.H.S.*).

La explotación de los embalses ha incidido muy notoriamente sobre el régimen natural del río. Desde la puesta en funcionamiento de los embalses de cabecera, éstos han tenido que afrontar la ardua misión de armonizar la irregularidad hidrológica del Segura con la difícil administración de una disponibilidad tan escasa como necesaria. Esta influencia empieza notándose en el tramo alto, en la cuenca del río Mundo (742 km²): en la estación de Talave, el coeficiente de irregularidad interanual, hallado para el período 1919-1970 a partir del caudal medio mensual máximo, 31.17 m³/s (marzo, 1947) y el mínimo, 0.14 m³/s (agosto, 1967) es de 222.6 (Conesa García, 1986), mientras que en la estación de Camarillas, situada 17 kms aguas abajo, dicho coeficiente desciende a 183.5 (López Bermúdez, 1973). La entrada en servicio del embalse del Cenajo en 1957 tiene un efecto más acusado, contribuyendo de manera decisiva a coeficientes de irregularidad muy moderados ya en la Vega Alta del Segura (Calasparra. 1.25; Archena, 2.0). Pese a haber supuesto, en toda la Vega, una importante reducción del coeficiente de irregularidad interanual, todavía existe una fuerte irregularidad estacional y, lo que es más significativo, una enorme variabilidad absoluta entre los caudales máximos instantáneos y de estiaje. La proliferación de obras de regulación en esta cuenca no ha impedido que, durante la segunda mitad del siglo XX. la Vega Baja del Segura siga experimentando una profunda

CUADRO 2. Caudales medios, máximos y mínimos anuales, y coeficientes de variación

Año	Beniel				Orihuela				Rojales				Guardamar			
	Q _{med}	Q _m	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.
1963-64	--	--	--	--	--	--	--	--	1.57	0.05	88.77	2.69	0.73	0.00	80.62	6.93
1964-65	--	--	--	--	8.35	1.67	169.01	1.10	1.09	0.??	107.55	3.63	2.43	0.00	161.52	5.71
1965-66	--	--	--	--	8.17	0.69	213.08	2.06	6.01	0.05	110.10	3.06	2.83	0.00	212.06	5.80
1966-67	--	--	--	--	h.53	0.00	185.03	1.72	4.14	0.00	190.13	3.31	2.38	0.00	195.78	6.15
1967-68	--	--	--	--	1.00	0.00	45.54	1.37	1.18	0.00	83.16	2.75	0.59	0.00	88.20	8.93
1968-69	4.64	0.00	21.95	0.88	1.51	0.00	15.54	1.14	0.89	0.00	17.31	2.52	0.16	0.00	9.73	5.92
1969-70	6.74	0.82	79.36	1.19	7.91	1.00	86.36	1.02	1.65	0.02	50.98	3.39	1.00	0.00	53.07	5.68
1970-71	4.97	1.56	31.24	0.68	6.32	0.00	42.49	0.66	1.16	0.01	19.65	1.94	0.19	0.00	14.19	6.50
1971-72	6.29	1.95	26.03	0.65	6.51	1.48	18.60	0.11	2.67	0.10	21.80	1.72	1.35	0.00	31.70	2.79
1972-73	8.64	1.28	85.72	1.00	8.64	1.95	74.85	0.87	1.31	0.01	29.61	1.63	2.04	0.00	29.61	2.24
1973-74	9.49	2.19	106.32	1.07	8.37	2.02	100.20	1.11	1.53	0.07	136.90	3.15	3.22	0.00	132.40	4.26
1974-75	6.68	1.19	55.76	0.74	8.20	2.63	59.99	0.63	3.19	0.02	43.78	1.18	1.19	0.00	51.02	4.25
1975-76	5.13	1.98	23.50	0.68	7.72	1.00	36.16	0.45	1.07	0.08	25.33	1.46	0.60	0.00	31.43	4.37
1976-77	6.63	2.70	36.00	0.44	9.35	2.00	37.00	0.43	1.90	0.10	16.42	0.97	1.91	0.00	20.59	1.89
1977-78	5.91	0.00	18.80	0.34	8.06	2.00	35.00	0.40	1.04	0.10	18.01	0.86	1.28	0.00	45.13	3.38
1978-79	8.83	1.10	27.54	0.14	7.19	1.20	32.10	0.39	--	--	--	--	1.99	0.00	32.69	2.43
1979-80	5.53	0.00	45.00	0.78	7.12	0.80	50.00	0.54	3.15	0.16	18.02	1.11	1.98	0.00	55.43	2.81
1980-81	4.59	1.10	16.00	0.45	6.16	0.80	23.94	0.44	1.89	0.11	15.64	1.26	0.72	0.00	40.90	5.09
1981-82	2.88	0.92	9.80	0.56	4.14	0.00	16.59	0.73	0.92	0.00	7.22	1.19	0.00	0.00	1.61	19.11
1982-83	3.79	0.11	160.00	2.37	2.65	0.00	30.60	1.12	1.88	0.05	106.70	5.24	0.64	0.00	113.01	11.17
1983-84	2.59	0.00	11.98	0.77	3.75	0.00	19.83	1.02	0.39	0.00	8.76	2.26	0.01	0.00	2.74	13.77
1984-85	2.77	0.08	11.34	0.63	5.62	0.50	49.14	0.75	1.45	0.00	151.00	6.19	0.36	0.00	56.96	10.48
1985-86	3.96	0.06	86.90	1.52	4.59	0.60	108.15	1.48	0.76	0.00	61.20	6.14	0.17	0.00	24.16	8.58
Periodo	5.56	0.00	160.00	0.84	6.50	0.00	243.08	0.91	2.59	0.00	210.10	2.59	1.21	0.00	212.06	6.45

discrepancia entre estiajes próximos a 0 m³/s (p.e. veranos de 1945, 1957, 1968, 1978, 1980 y 1984) y crecidas extraordinarias con caudales máximos diarios superiores a 150 m³/s (435 m³/s en Murcia, 21 de septiembre de 1953; 243 m³/s en Orihuela, 19 de octubre de 1965; 160 m³/s en Beniel, 20-21 de octubre de 1982 (López Bermúdez y Gutiérrez Escudero, 1983)). Además, la situación de aguas bajas, de caudales efímeros, se ha hecho más persistente, producto de una sequía «estructural» asociada a un creciente consumo de agua. Durante el período 1963-80, los valores de caudal medio mensual suelen situarse entre 6 y 9 m³/s en Beniel y Orihuela, y en torno a 3-4 m³/s en Rojales, pero a partir de 1981, a pesar de los aportes adicionales del Tajo, dicho caudal acusa una importante disminución, registrando un promedio anual de 3.2 m³/s en Beniel y 1.08 m³/s en Rojales (cuadro 2). La relativa recuperación apreciada en los aforos de Orihuela respecto a los de Beniel se debe a las aportaciones ya bastante diezmadas del Guadalentín (El Reguerón).

CUADRO 3. Caudales medios, máximos y mínimos mensuales, y coeficientes de variación

Mes	Beniel				Orhuela				Rojales				Guardamar			
	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.	Q _{med}	Q _{min}	Q _{max}	c.var.
Enero	3.93	0.28	45.00	0.76	4.94	0.00	30.00	0.57	1.85	0.00	154.00	3.47	1.11	0.00	55.43	3.62
Febrero	3.94	0.00	20.78	0.71	5.38	0.00	49.14	0.88	2.50	0.00	83.16	2.60	1.15	0.00	88.20	5.35
Marzo	5.89	0.34	54.96	0.75	5.75	0.00	38.43	0.64	2.61	0.00	33.82	1.68	0.81	0.00	28.86	3.26
Abril	5.52	0.22	26.03	0.73	6.44	0.00	35.00	0.62	2.47	0.00	60.98	1.97	1.05	0.00	71.56	4.80
Mayo	5.51	0.22	27.02	0.69	6.13	0.00	37.00	0.67	2.06	0.00	25.33	1.69	0.73	0.00	31.43	4.04
Junio	4.99	0.06	32.92	0.75	6.12	0.00	70.15	0.89	2.71	0.00	88.77	2.59	1.15	0.00	124.26	5.88
Julio	7.17	0.00	86.90	0.80	7.38	0.00	108.15	0.80	1.42	0.00	61.20	2.65	0.22	0.00	24.16	7.40
Agosto	7.84	0.08	91.12	0.71	8.07	0.00	97.30	0.65	1.91	0.00	76.16	2.49	0.38	0.00	71.70	9.94
Septienhrr	5.74	0.00	31.24	0.66	6.99	0.00	43.16	0.68	2.06	0.00	39.95	2.01	0.54	0.00	46.25	5.69
Octubre	6.93	0.00	160.00	1.84	8.16	0.00	185.03	1.51	4.79	0.00	190.90	3.14	3.14	0.00	195.78	4.73
Noviembre	4.62	0.05	79.36	1.08	5.98	0.00	64.66	0.70	2.34	0.00	27.14	1.79	1.13	0.00	29.15	3.29
Diciembre	4.42	0.53	51.00	0.83	6.57	0.00	243.08	2.14	4.29	0.00	210.10	3.50	3.07	0.00	212.06	4.76

Régimen estacional. El fuerte control ejercido por el uso agrícola del agua en toda la Vega del Segura se hace singularmente patente en su tramo inferior, de manera que aguas abajo de Murcia apenas existen variaciones mensuales de caudal. Tanto en Beniel como en Orihuela, la variación máxima intermensual, para el período 1963-86, se halla en tomo a 3 m³/s. En Beniel, el caudal medio mensual más bajo se da en enero (3.93 m³/s) y el más alto en agosto (7.84 m³/s). En Orihuela se mantiene el mínimo de enero (4.94 m³/s), pero existen dos máximos, uno en octubre (8.16 m³/s) y otro, secundario, en agosto (8.07 m³/s). Rojales anota un máximo en octubre (4.79 m³/s) y otro secundario en diciembre (4.29 m³/s), y lo mismo ocurre con Guardamar, aunque aquí las fluctuaciones de un mes a otro son algo mayores (cuadro 3). Este reparto «controlado» de valores medios no refleja, sin embargo, la distribución, por meses, de los caudales máximos diarios, sujetos a sucesos excepcionales, propios de nuestro clima mediterráneo semiárido. Las corrientes esporádicas de régimen alto, responsables de los ajustes morfológicos más importantes sufridos por el río, sobrevienen principalmente en otoño (sobre todo en octubre), invierno (diciembre, enero) e incluso en verano, fruto de alguna tormenta convectiva.

DEFINICIÓN DE UMBRALES HIDROMORFOLÓGICOS

La definición, dentro del presente estudio, de umbrales de desbordamiento y de las distintas categorías de sucesos o ajustes morfológicos del Bajo Segura se ha realizado considerando las variaciones a corto plazo, atribuibles al período anterior al encauzamiento del tramo Contraparada-Guardamar. Para ello se han analizado varias secciones transversales con estación de aforos (secciones de Beniel, Orihuela, Rojales y Guardamar), y secciones intermedias no canalizadas (Molino de la Ciudad, El Arenal, Algorfa y Formentera del Segura) (cuadro 4).

CUADRO 4. Umbrales establecidos para diferentes clases de sucesos hidromorfológicos

Sección	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV	
	P_u	Q_u	P_u	Q_u	P_u	Q_u	P_u	Q_u
Beniel	53.0	164	47.4	131	23.8	34	12.5	9
M. de la Ciudad (*)	40.4	110	36.1	85	22.5	36	12.9	11
El Arenal (*)	39.8	98	35.6	80	21.6	30	10.9	8
Orihuela	41.6	120	37.2	96	20.0	28	11.2	9
Algorfa	51.7	166	46.3	133	27.8	43	12.4	12
F. del Segura (*)	43.8	130	37.8	97	23.9	38	13.1	10
Rojales (**)	42.3	121	37.5	95	—	—	—	—
Guardamar (**)	68.1	270	61.0	216	—	—	—	—

P_u = perímetro hidráulico (m)

(*) Sección sin aforo directo

Q_u = umbral inferior de caudal (m^3/s)

(**) Estación de aforo con solera y muros de revestimiento

Para las secciones no aforadas se han tomado los datos de caudales pertenecientes a estaciones próximas: Beniel para los casos de Molino de la Ciudad y El Arenal, y Rojales para Algorfa y Formentera del Segura. En todas las secciones, se adoptan los rangos de caudales competentes en la variación geométrica del Bajo Segura establecidos empíricamente, para el período 1986-91, por Conesa García (1995).

Clase I. Corrientes de desbordamiento que afectan a todo o gran parte del sistema fluvial. Con frecuencia, suponen la rotura de motas del río e inundan extensas superficies agrícolas y núcleos de población. Su elevada carga de sedimentos en suspensión, por lo general homogeneizada, produce una acreción vertical relativamente uniforme en la llanura de inundación.

Clase II. Flujos de régimen alto, en situación de «*bankfull*». Ocupan toda o buena parte de la sección del cauce aluvial sin rebasar la altura máxima de las motas.

Clase III. Caudales moderados asociados a cambios netos apreciables en el lecho y en los márgenes. Junto con los flujos anteriores, controlan la forma del cauce.

Clase IV. Caudales suficientes para cubrir el cauce menor y provocar el movimiento de la carga de fondo, originando pequeñas modificaciones en el lecho.

Las secciones con estación de aforo tienen una geometría más regular y estable. Dos de ellas, Beniel y Orihuela, presentan un revestimiento parcial (fig. 2), que ha permitido definir umbrales para las mismas clases de sucesos establecidas en cauces no canalizados. En cambio, las secciones de Rojales y Guardamar disponen de solera y muros de hormigón, que delimitan con trazos rectilíneos áreas de tipo trapezoidal y rectangular respectivamente (figs. 3 y 4). En tales circunstancias, sólo se han considerado los umbrales de caudal correspondientes a sucesos mayores: 1) nivel de desbordamiento y 2) situación de *bankfull*.

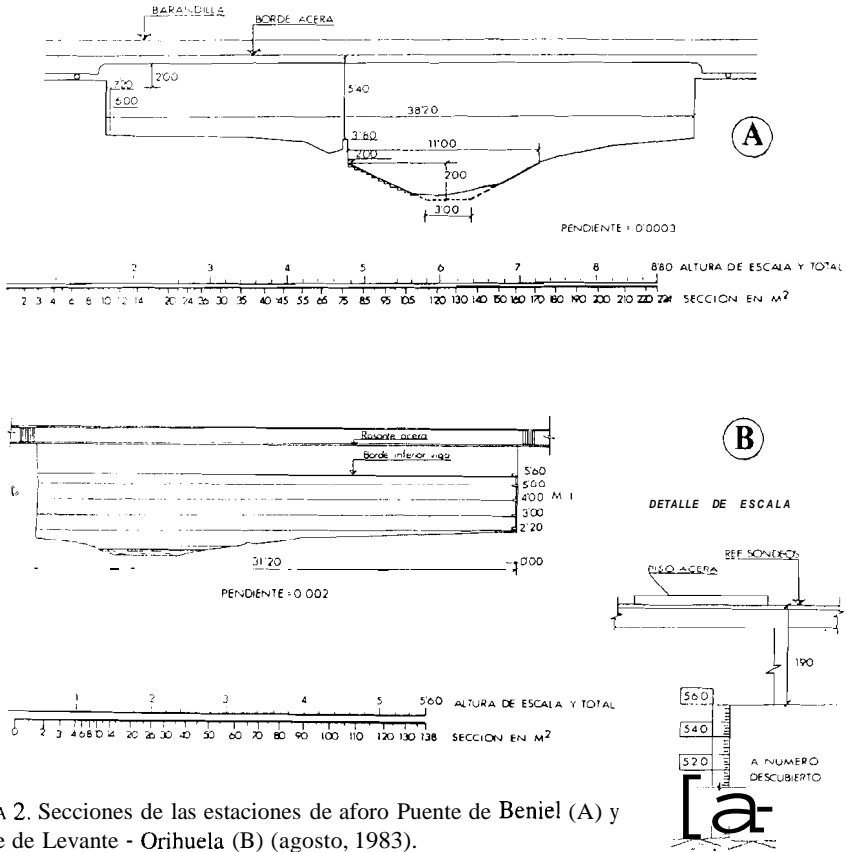


FIGURA 2. Secciones de las estaciones de aforo Puente de Beniel (A) y Puente de Levante - Orihuela (B) (agosto, 1983).

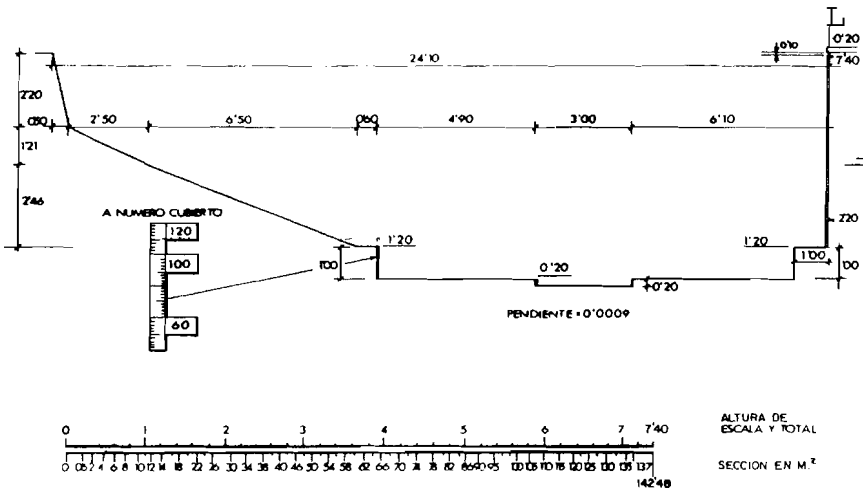


FIGURA 3. Sección transversal de la estación de aforos de Rojas (septiembre, 1989).

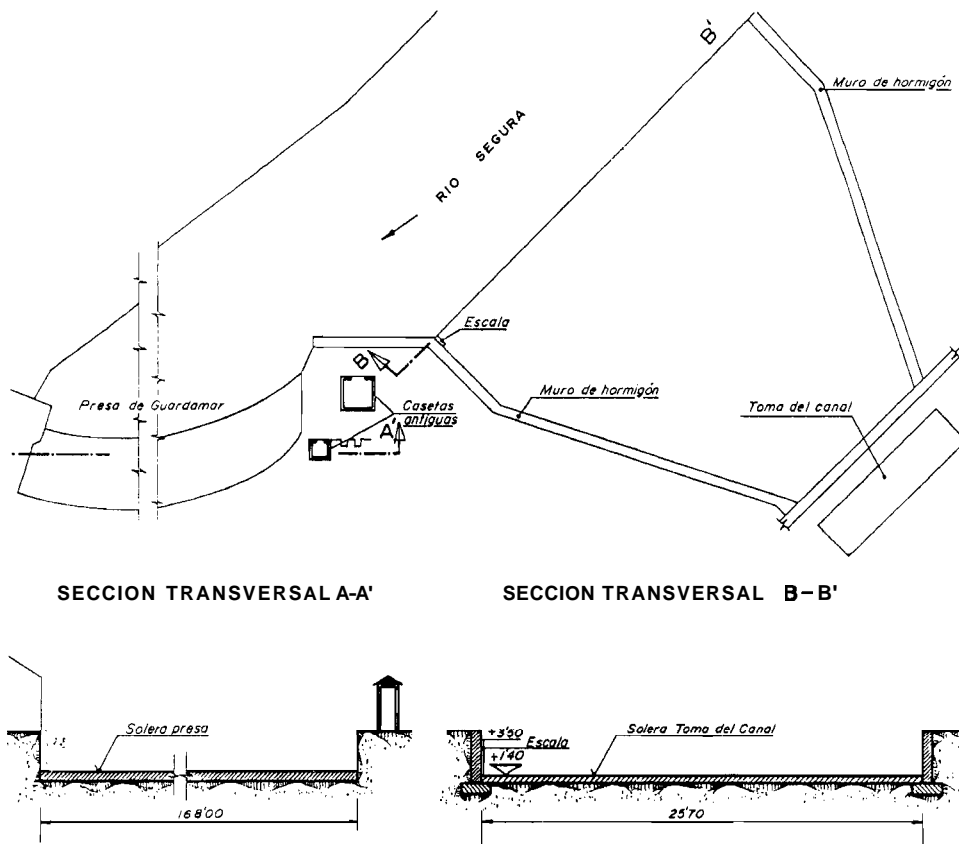


FIGURA 4. Planta y sección transversal de las estaciones de Guardamar (A-A') y Toma del Canal de Riegos de Levante, margen izquierda (B-B').

FRECUENCIA Y PROBABILIDAD DE SUCESOS ANTERIORES AL ENCAUZAMIENTO

— *Sucesos hidrológicos extremos.* Con anterioridad a la canalización del Bajo Segura, iniciada en 1989, la mayor parte del cauce era estrecho y de trazado especialmente meandriforme, sobre todo entre El Llano de Brujas y El Raal, donde se aprecian huellas de antiguos lóbulos, separados 1.5 - 3 kms del lecho actual (Conesa García, 1992). La escasa capacidad de este tramo y de otros próximos a Orihuela y Rojales (95-120 m³/s), en relación con las crecidas históricas del Segura, ha provocado numerosas inundaciones a lo largo de toda la vega.

Durante el período 1963-86, anterior, por tanto, a la citada canalización, la mayor frecuencia de desbordamientos (sucesos de *clase I*) se produce en Rojales (cuadro 5). Aun siendo la sección del cauce, en este punto, mayor que las del Arenal y del Molino de la Ciudad, situadas aguas abajo de Beniel, y prácticamente similar a la de Orihuela, registra,

CUADRO 5. Frecuencia anual de los sucesos de desbordamiento (clase I) y «bankfull» (clase II) en el período 1963-86

Año	Beniel		M.Ciudad		El Arenal		Orihuela		Algorfa		F.Segura		Rojales		Guardamar	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1963-64	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
1964-65	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
1965-66	-	-	-	-	-	-	2	0	3	0	3	0	3	0	0	0
1966-67	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0	1	2	1	2	0	0
1967-68	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970-71	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971-72	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972-73	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1973-74	0	0	0	2	1	0	0	2	0	2	2	2	2	2	0	0
1974-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1975-76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976-77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977-78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978-79	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0
1979-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980-81	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1981-82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982-83	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
1983-84	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984-85	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
1985-86	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total sucesos	0	1	3	4	3	4	4	3	5	3	7	6	8	6	0	0
Mediaanual	0	0.06	0.17	0.22	0.22	0.22	0.18	0.14	0.23	0.14	0.32	0.27	0.36	0.27	0	0

sin embargo, un mayor número de sucesos de este tipo, ya que 6.5 kms aguas abajo de Orihuela tiene lugar la afluencia del Reguerón y su desagüe, en época de avenidas. sólo afecta al tramo de Benejúzar-Guardamar. El tiempo de retorno o cadencia media de desbordamiento es, por ejemplo, de 4.5 años en la sección del Molino de la Ciudad, y de 2.75 a 3.14 años en el sector de Formentera del Segura - Rojales (cuadro 6).

El gran espesor de material aluvial acumulado en esta Vega se debe a la frecuencia relativamente alta de estos sucesos, dentro del contexto semiárido, y a su considerable carga de sedimentos en suspensión. Incluso inundaciones de escasa magnitud (con intervalos de recurrencia inferiores a 10 años) solían acarrear importantes aportes. El desbordamiento del Segura en julio de 1986, por ejemplo (tiempo de retorno de 5 años) depositó entre 10 y 15 cms de arcillas y limos en los terrenos próximos al cauce.

CUADRO 6. Cadencia y probabilidad media anual de sucesos hidromorfológicos de magnitud diferente

Sección	Clase	Nº sucesos	Fm anual	Cm (años)	P(%)
Beniel	I	0	0.00	—	—
	II	1	0.06	18.00	0.02
	III	30	1.67	0.60	0.46
	IV	838	46.55	0.02	12.75
M. de la Ciudad	I	3	0.17	6.00	0.05
	II	4	0.22	4.50	0.06
	III	28	1.55	0.64	0.43
	IV	432	24.00	0.04	6.57
El Arenal	I	4	0.22	4.5	0.06
	II	4	0.22	4.5	0.06
	III	38	2.11	0.47	0.58
	IV	1174	65.22	0.02	17.86
Orihuela	I	4	0.18	5.50	0.05
	II	3	0.14	7.33	0.04
	III	67	3.05	0.33	0.83
	IV	1140	51.82	0.02	14.19
Algorfa	I	5	0.23	4.40	0.06
	II	3	0.14	7.33	0.04
	III	31	1.41	0.71	0.39
	IV	267	12.18	0.08	3.41
F. del Segura	I	7	0.32	3.14	0.09
	II	6	0.27	3.67	0.08
	III	32	1.45	0.69	0.41
	IV	406	18.45	0.05	5.17
Rojales	I	8	0.36	2.75	0.10
	II	6	0.27	3.67	0.08

Fm = Frecuencia media anual:

Cm = Cadencia media en años

P = Probabilidad de ocurrencia

Las roturas de diques y motas de tierra durante las crecidas aportaban un material poco diferenciado respecto a los finos que integran la llanura de inundación. Los depósitos de los lóbulos de derrame originados por tales roturas incluyen sedimentos limo-arcillosos, entre los que a veces alternan pequeños niveles lenticulares de arenas finas.

La construcción de la llanura de inundación se debe a la dinámica sedimentaria del Bajo Segura, curso meandriforme con carga esencialmente lutítica, perteneciente a la categoría de «*muddy, fine-grained meandering rivers*» de Miall (1985). La delimitación de facies sedimentarias correspondientes a las distintas fases de evolución de los subambientes que llevan asociados (depósitos de canal, de desbordamiento, rellenos de meandro abandonado) resulta a veces problemática, dada su homogeneidad granulométrica. Sólo en los sectores situados cerca del final de las curvas de algunos lóbulos (área en la que el flujo helicoidal alcanza su «desarrollo completo») pueden apreciarse las dos unidades de la sucesión vertical del modelo sedimentológico de Jackson (1981), válido para corrientes de este tipo: una inferior, arenosa y arenoso-lutítica (*facies C*), y otra superior, de granulometría más fina (F_1 y F_2). La estructura sedimentaria de este último tramo es muy similar a la de los depósitos de desbordamiento (laminación horizontal, «*ripples*»), aunque también es posible observar unidades acrecionales inclinadas del tipo «*epsilon cross-stratification*».

— *Sucesos de «bankfull»*. La situación de *bankfull*, producida en condiciones de régimen alto, se alcanza cuando la corriente cubre la sección del cauce, sin sobrepasar los márgenes. Se trata de un tipo de sucesos de gran efectividad geomorfológica, ya que a menudo controlan la geometría del cauce. La definición morfológica de «*bankfull*» apuntada por Wolman (1955) para tramos rectos desprovistos de barras «*point*», no puede adoptarse en la mayoría de las secciones analizadas aquí, dado que en ellas no coincide necesariamente el nivel de pre-desbordamiento con el valor mínimo de la razón anchura/profundidad de la corriente, tal como propone dicho autor. Parece, en cambio, más apropiado emplear el método pendiente - área de sección aplicado por Brown (1971) y Williams (1978) a cauces labrados en llanuras de inundación y fondos de valle planos. Con este criterio, se han estimado para 40 puntos del Bajo Segura el área de la sección transversal del cauce (C_b) y su pendiente longitudinal (s_b), obteniendo como ecuación de regresión la siguiente:

$$Q_b = 4.0 C_b^{1.02} \cdot s_b^{0.29}, \quad \text{donde } Q_b \text{ el caudal «bankfull»}$$

La frecuencia de los caudales de *bankfull* (sucesos de *clase II*) es muy similar a la de desbordamientos (sucesos de *clase I*). En general, varían entre 3 y 6 en el período de análisis, lo que significa, según los casos, una cadencia media observada de 3.6 a 7.3 años y una probabilidad de ocurrencia entre 0.04 y 0.08 % (cuadro 6).

A menudo, este tipo de situaciones está relacionado con prolongadas crecidas que terminan desbordando las motas del cauce. En otras ocasiones, se trata de corrientes aisladas que, aun siendo importantes, no llegan a coronar los márgenes. En uno y otro caso, son predominantes durante la estación de otoño, aunque también pueden ocurrir a finales de verano o en pleno invierno. Apenas existen variaciones en la frecuencia de los

sucesos de bankfull porque tampoco es diferente el régimen hidrológico. Sólo aguas abajo de Orihuela, llega a apreciarse un ligero aumento del número de sucesos pertenecientes a la clase II.

Resulta difícil asignar cambios morfológicos específicos a determinados intervalos frecuenciales de corriente. Carlston (1965) correlacionó la longitud de onda de los meandros con el caudal medio anual, el caudal medio en el mes de máxima descarga y el caudal «bankfull», obteniendo la mejor correlación y ajuste con los sucesos «sub-bankfull». Comprobó, así, que este tipo de sucesos controla la geometría de los meandros, debido sobre todo a que frecuentemente provocan rupturas de margen que aceleran la erosión lateral. Dada la peculiar fisionomía del cauce del Bajo Segura, con anterioridad a su canalización, caracterizado, en buena parte de su recorrido, por un perfil tipo semi-V, con

CUADRO 7. Frecuencia anual de sucesos menores (clases III Y IV) en el período 1963-86

Año	Beniel		M.Ciudad		Arenal		Orihuela		Algorfa		F. Segura	
	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV	III	IV
1963-64	-	-	-	-	-	-	-	-	3	12	3	15
1964-65	-	-	-	-	-	-	5	79	6	24	6	32
1965-66	-	-	-	-	-	-	6	45	1	45	3	59
1966-67	-	-	-	-	-	-	5	25	7	16	6	23
1967-68	-	-	-	-	-	-	2	6	2	7	2	26
1968-69	0	42	0	23	0	62	3	34	0	5	0	7
1969-70	7	56	7	19	7	75	8	69	1	6	4	11
1970-71	0	50	0	15	1	65	2	59	0	3	0	5
1971-72	0	68	0	38	0	92	0	44	0	20	0	26
1972-73	7	93	6	61	10	130	11	83	0	32	0	38
1973-74	9	114	8	71	11	143	4	65	4	22	2	33
1974-75	1	78	1	43	2	101	4	92	1	13	1	19
1975-76	0	53	0	31	0	75	2	56	0	9	0	13
1976-77	0	52	1	20	1	84	3	134	0	16	0	39
1977-78	0	29	0	4	0	46	2	104	0	11	0	21
1978-79	0	142	0	80	0	187	1	60	-	-	-	-
1979-80	3	27	3	13	3	47	3	44	0	17	0	24
1980-81	0	12	0	4	0	21	0	24	0	6	0	7
1981-82	0	2	0	0	0	4	0	16	0	0	0	0
1982-83	1	5	1	3	2	14	1	9	3	0	2	2
1983-84	0	3	0	1	0	6	0	42	0	0	0	0
1984-85	0	3	0	1	0	8	3	39	1	2	1	3
1985-86	2	9	1	5	1	14	2	11	2	1	2	3
Total	30	838	28	432	38	1174	67	1140	31	267	32	406
Media	1.67	46.6	1.55	25.0	2.11	65.2	3.05	51.8	1.41	12.1	1.45	18.4

base recortada (2-3 metros de altura respecto al lecho actual), el trazado sinuoso de este río parece responder a una gama más amplia de sucesos. Muy probablemente, los caudales de «*bankfull*» y «*sub-bankfull*» habrían tenido menor efectividad geomorfológica si el margen externo no hubiese sido preparado por sucesos de menor magnitud (sucesos de *clase III*), más o menos reiterativos, que produjeron cierta saturación y desgaste en los materiales de la parte inferior.

Estos sucesos de menor magnitud y efectividad (28-43 m³/s), responsables también de ajustes morfológicos en el lecho, son bastante más frecuentes. Su cadencia media varía de 5.5 a 8.5 meses, según las secciones, y su probabilidad entre 0.39 y 0.58 % (cuadro 6). Estos valores medios pueden resultar algo engañosos, ya que en Orihuela, Algorfa y Formentera del Segura se han contabilizado los registros de un período (1963-68) singularmente pródigo en sucesos de esta clase. En cambio, aguas arriba de Orihuela existe un vacío de información durante dicho período, de manera que los valores obtenidos son inferiores a los que hubiera cabido esperar utilizando la serie completa. No obstante, a diferencia de lo que ocurría con los sucesos mayores de las clases anteriormente descritas, son Orihuela y su tramo próximo las áreas que anotan una mayor frecuencia de sucesos de la *clase III* (cuadro 7). Aguas abajo, éstos pueden ser controlados y derivados para aprovechamiento en regadíos, provocando incluso disminuciones drásticas de caudal, que los convierten en sucesos de *clase IV*.

Por el mismo motivo, los sucesos menores (*clase IV*: erosión local y modificaciones de barras aluviales simples, ligeras deposiciones de material fino en el margen interno de los meandros, migración de «*ripples*», etc.) disminuyen en frecuencia aguas abajo de Orihuela. Entre este punto y Beniel alcanzan probabilidades de ocurrencia del 12.8 al 17.9 %, pero sus efectos geomorfológicos son muy locales y poco significativos.

En general, los procesos de incisión y sedimentación (relleno), implícitos en los sucesos de la *clase III* y *IV*, no suponen modificaciones importantes del cauce, debido a la interferencia de las acciones humanas (monda del cauce, recubrimientos parciales con muros de mampostería, recrecimiento de las motas. etc.) (Conesa García, 1993).

Las categorías de sucesos (x) han sido correlacionadas con sus respectivas frecuencias (y), obteniendo en todos los casos ecuaciones de regresión no lineales, de tipo exponencial.

Beniel	$y = 0.00035 \cdot e^{.74x}$	$r^2 = 0.99$
El Arenal	$y = 0.233 \cdot e^{.93x}$	$r^2 = 0.86$
Molino de la Ciudad	$y = 0.29 \cdot e^{1.69x}$	$r^2 = 0.90$
Orihuela	$y = 0.205 \cdot e^{2.01x}$	$r^2 = 0.87$
Algorfa	$y = 0.53 \cdot e^{1.43x}$	$r^2 = 0.82$
Formentera del Segura	$y = 0.851 \cdot e^{.39x}$	$r^2 = 0.84$

Los coeficientes de determinación (r^2) calculados para diferentes tipos de curvas demuestran que el ajuste exponencial es el más apropiado en este tipo de relación ($r^2 = 0.82$ -0.99). La predicción del incremento frecuencial de sucesos con el aumento de categoría (tipo de ajuste morfológico del cauce) no puede hacerse linealmente ($r^2 = 0.54$ -0.66) y tampoco refleja una tendencia de tipo logarítmico ($r^2 = 0.35$ -0.46).

El régimen mensual de sucesos guarda, como es lógico, estrecha relación con el

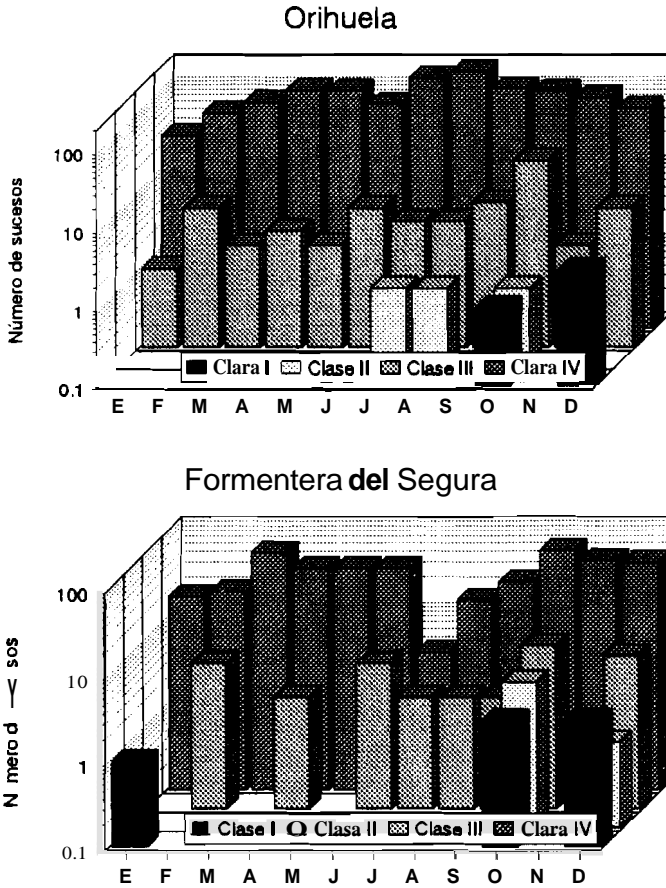


FIGURA 5. Distribución mensual del número de sucesos para cada clase. Secciones de Orihuela y Formentera del Segura.

régimen fluvial del Bajo Segura. Sin embargo, la discretización de los sucesos hidrológicos en cuatro clases, limitadas por umbrales de caudal, ha permitido establecer diferencias estacionales, según el tipo de suceso. En la fig. 5 se observa que los sucesos de las tres primeras clases, correspondientes a crecidas extremas y moderadas del Segura, están principalmente concentrados en el mes de octubre coincidiendo así con la época de mayor probabilidad de lluvias torrenciales. En cambio, la frecuencia mensual de sucesos menores (clase IV) se halla tan influida por la regulación y administración de los caudales para usos agrícolas, que, lejos de reflejar las características del régimen hidrológico natural de un río mediterráneo, presenta escasas variaciones a lo largo del año y cierta persistencia en los meses de verano. Sólo aguas abajo de la afluencia del Reguerón, parece mantenerse el máximo frecuencial de otoño, aunque ya muy mermado por causa del intenso aprovechamiento practicado en la Huerta de Murcia y los exiguos recursos provenientes del Guadalentín.

— **Tiempos de retorno.** Si los caudales máximos anuales de N años de registro son ordenados de mayor (orden. $m=1$) a menor ($m=N$), la serie anual resultante forma clases de orden $N+1$. La probabilidad de que un suceso aleatorio de magnitud x sea igual o mayor que un suceso de orden m es

$$P(x) = m / (N+1)$$

y el período medio de retorno observado, $T = 1 / P(x) = (N+1) / m$

Los períodos específicos de retorno (Q), pueden estimarse a través de una distribución teórica de probabilidad, que normalmente modeliza los sesgos positivos comunes en las distribuciones de sucesos extremos. Ello se consigue con distribuciones «naturales» (exponencial, gamma, valor extremo I de Gumbel -EV1- y tipo III de Pearson) o con distribuciones transformadas (log-normal, log-Gumbel, log-Pearson tipo III). A falta de una justificación teórica para un modelo en particular, es preferible, al menos bajo condiciones de clima semiárido, adoptar un criterio de log-normalidad con el fin de reflejar la función multiplicadora (no aditiva) de las influencias naturales aleatorias sobre el régimen hidrológico del curso. La distribución EV1 de Gumbel (Gumbel, 1958; NERC, 1975), empleada en este trabajo, constituye un modelo log-normal general, con representación lineal sobre una escala de probabilidad transformada. Su función de distribución

$$F(x) = 1 - P(x) = \exp \{-\exp [-(x-u)/\alpha]\}$$

es un doble exponencial de dos parámetros, de dispersión fija, con moda u , media $\mu = u + 0.5772$ y varianza $\sigma^2 = (\pi^2 \alpha^2)/6$. La probabilidad de excedencia del caudal máximo medio anual, calculada para Rojales mediante el modelo EV1, es $P(\mu) = 1 - F(\mu) = 0.429$, y su período de retorno $T = 1/P(\mu) = 2.33$ años (cuadro 7). Por el mismo procedimiento, el

CUADRO 7. Probabilidades de excedencia y tiempos de retorno estimados por la distribución EV1 de Gumbel en Rojales

Q	$(x-u)/\alpha$	$F(x)$	$P(x)$	T	Estimación de $F(\mu)$, $P(\mu)$ y T para el modelo de distribución EV1 de Gumbel
50	0.245	0.457	0.543	1.84	$\sigma^2 = \pi^2 \alpha^2 / 6$; $a = 46.66$; $\mu = u + 0.5772$; $u = 38.58$ $F(\mu) = \exp \{-\exp [-(\mu-u)/\alpha]\}$ Para $\mu = 65.51$, $F(\mu) = \exp (-e^{aZx}) = 0.571$ Esta es la probabilidad de que un suceso tenga un caudal máximo diario inferior a p .
75	0.780	0.632	0.368	2.72	
100	1.316	0.765	0.235	4.25	
125	1.852	0.855	0.145	6.90	
150	2.388	0.912	0.088	11.36	
175	2.924	0.948	0.052	19.23	
200	3.459	0.969	0.031	32.25	
225	3.995	0.981	0.019	52.63	
250	4.531	0.989	0.011	90.91	
Q (exp. en m^3/s); $\mu = 65.51$; $\sigma^2 = 3582$					

caudal máximo diario de la serie ($210.1 \text{ m}^3/\text{s}$) tiene una probabilidad $P(x) = 0.025$ y un tiempo de retorno $T = 40$ años.

El modelo EV1 de Gumbel es restrictivo, pero sus funciones alternativas de probabilidad adaptadas a series anuales sólo divergen en las colas de la distribución y para períodos de retorno largos. Por tanto, las series de duración parcial pueden emplearse para estimar, con mayor grado de confianza, sucesos hidrológicos de $T < 10$ años.

Si se consideran los umbrales de caudal establecidos para los sucesos de clase I, en las diferentes estaciones de aforo, se obtienen valores T superiores a los valores de cadencia medios observados. Por ejemplo, para sucesos de clase I, en Rojales, $T = 6.25$ años, frente a los 2.75 años de cadencia media (cuadro 6). Ello se debe a que los años de la serie de análisis incluyen caudales máximos secundarios, responsables de inundaciones, que han sido contabilizados en el recuento frecuencial de las clases y no en el cálculo de la distribución de Gumbel. Para sucesos «bankfull» (clase II) el modelo EV1 proporciona, en cambio, un mejor ajuste. En Rojales este tipo de sucesos presenta un tiempo de retorno de 4 años, que está próximo a los 3.67 años de cadencia media observada.

CONCLUSIONES

Con anterioridad a su encauzamiento, y durante la segunda mitad del presente siglo, el Bajo Segura mantenía los rasgos principales del trazado adquirido en la centuria pasada. Sin embargo, a pesar de la construcción de motas y revestimientos de mampostería en determinados tramos de margen, la llanura de inundación y la propia geometría del cauce han experimentado, en el período de análisis (1963-1986), ajustes morfológicos dentro de un régimen o estado de equilibrio. La duración y frecuencia de sucesos de distinta magnitud han sido, a corto plazo, los factores responsables de esta situación de equilibrio dinámico. En condiciones de aguas bajas, el interior del cauce registra un predominio de la sedimentación, bajo la expresión de formas de lecho locales características («ripples», barras laterales de meandro o «point bars»). Las fuertes crecidas ocasionales tienen, en cambio, importantes efectos morfológicos dentro y fuera del cauce: provocan erosión en los márgenes, incisión en las formas aluviales del lecho y deposición de finos en la llanura de inundación. La lentitud de avance de estas crecidas permitía actuar sobre las motas demorando el desbordamiento del río, pero sin reducir apenas el número de puntos inestables, tradicionalmente sometidos a procesos de rotura.

La distribución frecuencial de los sucesos hidrológicos mayores (sucesos de «bankfull» y desbordamientos) es, para dicho período, aproximadamente log-normal (distribución EV1 de Gumbel), mientras que la tendencia representada por el incremento frecuencial de sucesos en función de su magnitud obtiene un mejor ajuste mediante regresiones no lineales de tipo exponencial.

Muy recientemente, el tramo del río Segura entre la Contraparada y Guardamar ha sido acondicionado para una capacidad de $400 \text{ m}^3/\text{s}$ mediante el ensanche del cauce primitivo con taludes estables en gran parte de su recorrido y numerosas «cortas» de meandro, que aumentan la pendiente longitudinal del lecho. Ello significará una nueva modificación del actual estado de equilibrio y de los umbrales hidro-morfológicos estableci-

dos en el presente estudio. Sin duda, la efectividad geomorfológica de los sucesos hidrológicos en la Vega Baja disminuirá con la aminoración del riesgo de inundación y la protección artificial de los márgenes, pero está por conocer la naturaleza y grado de influencia que sobre la morfología costera tendrán las alteraciones del primitivo trazado fluvial.

BIBLIOGRAFÍA

- BLENCH, T. (1969): *Mobile-bed Fluviology*, Edmonton, University of Alberta Press.
- BOTÍA PANTOJA, A. (1992): «Problemática de las inundaciones con afecciones urbanas en la cuenca del Segura»), en J. Dolz, M. Gómez y J.P. Martín (eds.), *Inundaciones y redes de drenaje urbano*, Universitat Politecnica de Catalunya, Monografías 10. Barcelona, pp. 361-378.
- BROWN, D.A. (1971): «Stream channels and flow relations», *Water Resources Research*, 7, pp. 304-310.
- CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (1982): «La formación del paisaje agrario de la Huerta de Murcia»), *Estudios de Geografía de Murcia*, Academia Alfonso X el Sabio, Murcia, pp. 175-215.
- CARLSTON, C.W. (1965): «The relation of free meander geometry to stream discharges and its geomorphic implications», *American Journal of Science*, 263, pp. 864-85.
- CEDEX y COMISARÍA CENTRAL DE AGUAS: *Aforos, 7, Cuenca del Segura*, Período 1963-86. Dirección General de Obras Hidráulicas.
- CONESA GARCÍA, C. y ARGENTE DEL CASTILLO, F.J. (1986): «Alimentación y régimen de explotación del embalse de Talave (provincia de Albacete)», *Castilla-La Mancha: Espacio y Sociedades*, vol. III: El Medio Físico, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Albacete, pp. 37-68.
- CONESA GARCÍA, C. (1992): «Trazados de baja y alta sinuosidad en ríos españoles»), *Papeles de Geografía*, 18, Universidad de Murcia, pp. 9-30.
- CONESA GARCÍA, C. (1993): ((Identificación de umbrales y sucesos morfológicos asociados a corrientes torrenciales en el sureste peninsular)), *El estado actual de la investigación en ciencia regional en Murcia*, Instituto de Fomento de la Región de Murcia, Asociación Murciana de Ciencia Regional, Murcia, pp. 193-212.
- CONESA GARCÍA, C. (1995): «Torrential Flow Frequency and Morphological Adjustments of Ephemeral Channels in South-East Spain», en E.J. Hickin (ed.), *River Geomorphology*, Ch.9, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 169-192.
- DURY, G.H. (1966): «The concept of grade», en G.H. Dury (ed.), *Essays in Geomorphology*, London, Heinemann, pp. 211-234.
- GUMBEL, E.J. (1958): «Statistical theory of floods and droughts», *Journal of the Institute of Water Engineers*, 12, pp. 157-184.
- HICKIN, E.J. (1974): «The development of meanders in natural river channels», *American Journal of Science*, 274, pp. 414-442.
- HUPP, C.R. & SIMON, A. (1991): «Bank accretion and the development of vegetated depositional surfaces along modified alluvial channels», *Geomorphology*, vol. 4, 2, pp. 111-124.

- JACKSON, R.G. (1981): «Sedimentology of muddy fine-grained channel deposits in meandering streams of the American middle west», *Journal Sed. Petrol.*, 51, pp. 1.169-1.192.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1973): *La Vega Alta del Segura: clima. hidrología y geomorfología*, Universidad de Murcia, 288 p.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. y GUTIÉRREZ ESCUDERO, J.D. (1983): ((Descripción y experiencias de la avenida e inundación de octubre de 1982 en la cuenca del Segura)), *Estudios Geográficos*, XLIV, C.S.I.C., Instituto «Juan Sebastián Elcano», Madrid, pp. 87-100.
- MIALL, A.D. (1985): «Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits», *Earth Sci. Rev.*, 22, pp. 261-308.
- MORISAWA, M.E. (1985): *Rivers*. Geomorphology Texts, 7 Longman Inc., New York. 222 p.
- NERC (Natural Environment Research Council) (1975): *Flood Study Report*, Natural Environment Research Council, UK.
- PARK, C.C. (1981): «Man, river systems and environmental impacts», *Progress in Physical Geography*, 5, pp. 1-31.
- SCHUMM, S.A. (1975): «Episodic erosion: A modification of the geomorphic cycle», en W.N. Melhorn & R.C. Flemal (eds.), *Theories of Landform Development*, SUNY Binghamton, Publications in Geomorphology, pp. 69-85.
- WOLMAN, M.G. (1955): «The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania», *Professional Paper. United States Geological Survey*, 271.
- WOLMAN, M.G. & GERSON, R. (1978): «Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology», *Earth Surface Processes*, 3, pp. 189-208.
- WILLIAMS, G.P. (1978): «Bankfull discharge of rivers», *Water Resources Research*, 14, pp. 1141-54.