

Sectorización ecológica de cuencas fluviales: aplicación a la cuenca del río Segura (SE España)

M. R. VIDAL-ABARCA *, C. MONTES **, M. L. SUÁREZ *,
y L. RAMÍREZ-DÍAZ *

1. LA SECTORIZACIÓN ECOLÓGICA APLICADA A CUENCAS FLUVIALES: ANTECEDENTES

Desde la publicación de los trabajos de Likens y Bormann (1974) y Hynes (1975) sobre los ríos y sus valles, se admite que la estructura y funcionamiento de estos sistemas depende directamente de sus cuencas de drenaje. De hecho, las características físico-químicas y biológicas de los cursos de agua, pueden considerarse como perfectos indicadores del tratamiento, uso y gestión de sus cuencas de drenaje (Margalef, 1983).

Dentro de la ecología de los sistemas de aguas fluyentes, existen actualmente diversas tendencias y debates (Meyer *et al.*, 1988; Minshall, 1988; Naiman *et al.*, 1988), encaminados a sintetizar y buscar indicadores ambientales que resuman todos los aspectos dinámicos de estos ecosistemas singulares. Vannote *et al.* (1980) propusieron, y posteriormente comprobaron (Minshall *et al.*, 1985), que el orden de los cauces podía sintetizar el gradiente de condiciones físicas, químicas, biológicas y energéticas que se establece desde la cabecera a la desembocadura de un río. Hughes y Omernik (1981), basándose en el estudio de cinco aspectos temáticos ambientales en las cuencas de drenaje (formas de la superficie, precipitación, tipos de

* Departamento de Biología Animal y Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. Campus Universitario de Espinardo. 30071 Murcia.

** Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. 28049 Madrid.

suelo, vegetación potencial y usos del suelo) determinan eco-regiones (regiones de igual significado ecológico) que explican los patrones de distribución de las comunidades biológicas en estos ecosistemas (para peces: Larsen *et al.*, 1986; Hughes *et al.*, 1987; para peces y calidad del agua: Rohm *et al.*, 1987, y para peces y perifiton: Whittier *et al.*, en prensa). No obstante, cuando se aborda el estudio de un ecosistema fluvial, se seleccionan y analizan distintas variables del medio físico y humano que nunca se suelen integrar, quedando como una mera descripción del marco ecológico donde se desarrollan los procesos dinámicos fluviales (Warren, 1979) en lugar de sectorizar el territorio en unidades ambientales para su posterior utilización en estudios básicos y aplicados.

Esta situación se contrapone al desarrollo que ha tenido la prospección, sectorización y cartografía ecológica en los ecosistemas terrestres. Son muy abundantes los estudios dedicados a la caracterización ecológica de un territorio para su posterior utilización, entre otros en la planificación territorial (Martín de Agar, 1984; Llorca *et al.*, 1988). La base de estos estudios ha sido la cartografía temática de distintos aspectos del medio físico y humano que, una vez integrados, permite obtener sectores de gran homogeneidad ambiental (Ramos, 1979). El problema fundamental de este tipo de estudios consiste en la forma de integración de los diferentes aspectos temáticos, dado que las características ecológicas de un territorio quedan definidas por un gran número de parámetros ambientales que interaccionan constantemente entre sí (González Bernáldez, 1982), de manera que se requieren técnicas analíticas de datos muy complejas para reconocer las relaciones más importantes y llevar a cabo una descripción adecuada del territorio en estudio, según determinados objetivos de planificación (De Pablo *et al.*, 1987).

Las tendencias actuales en este aspecto de la investigación apuntan a la utilización de técnicas sobre variables múltiples, para obtener indicadores ecológicos y elaborar cartografías mediante un proceso de integración real (Brunce *et al.*, 1975; De Pablo y Pineda, 1985; De Pablo *et al.*, 1987; Llorca *et al.*, 1988).

Dado que la cuenca hidrológica se reconoce como una unidad estructural, funcional (Ramos, 1979), dinámica (Minshall *et al.*, 1985) y de planificación (William *et al.*, 1986), el objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un procedimiento mediante el cual se sinteticen e integren aquellos aspectos del medio físico y humano, con significado limnológico, capaz de recoger los gradientes ambientales dentro de la cuenca de drenaje en estudio y de extraer indicadores ambientales que ayuden a interpretar el cuadro físico-químico y biológico, tanto espacial como temporal, de las aguas superficiales de las cuencias hidrológicas.

La aplicación a la cuenca del río Segura, de gran heterogeneidad ambiental, permitirá discutir las ventajas e inconvenientes de la metodología propuesta.

2. FASES METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO

A) *El área de estudio*

La cuenca hidrológica del río Segura, con una superficie aproximada de 14.432 km², está situada en el sureste de la Península Ibérica (fig. 1). A nivel territorial, la alternancia de sectores montañosos y amplias depresiones, configura uno de los contrastes paisajísticos y ambientales más peculiares de la Península Ibérica (López Bermúdez, 1973). Estas formas del relieve imponen la dirección del drenaje fluvial, con un alto grado de jerarquización, cauces estrechos y fuertes pendientes en cabecera que, conforman una morfología hidrológica típicamente mediterránea.

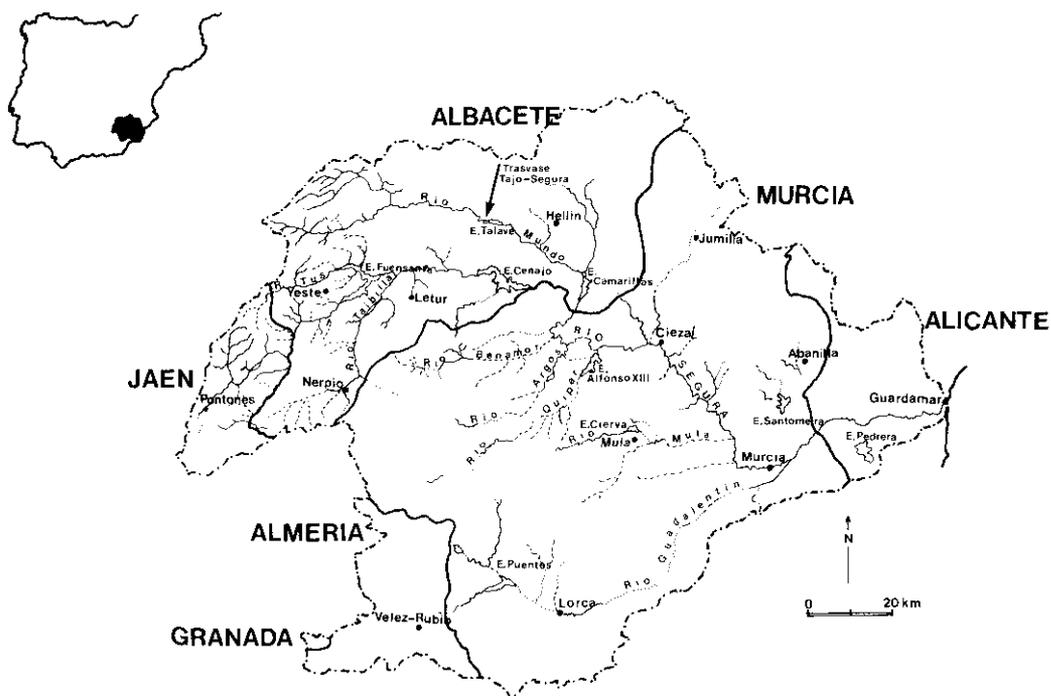


Figura 1.—Localización geográfica de la cuenca del río Segura (SE de España).

B) *Esquema metodológico de trabajo*

En la figura 2, se presentan las fases seguidas dentro del esquema metodológico propuesto. Tras la obtención, elaboración y análisis de la información disponible, tanto del medio físico como humano, se elaboran los mapas temáticos y se obtienen los indicadores ambientales y de las actividades humanas empleando distintas técnicas. En el caso de tener que tratar un gran volumen de datos (como en los aspectos morfométricos y climáticos) resulta de gran utilidad el empleo de técnicas multivariantes de ordenación y clasificación (González Bernáldez, 1981). Cuando existen mapas elaborados para distintos aspectos temáticos, como usos del suelo o mapas geológicos y litológicos, se sintetiza la información que aportan en función de los objetivos del estudio. Dentro de la hidrología superficial, los datos que proporciona el MOPU con su red de afluentes, hacen referencia a los caudales circulantes (módulo absoluto, m^3/s ; módulo relativo, $1/\text{s}/\text{km}^2$; e irregularidad interanual) y es posible elaborar cartografías hidrológicas en función del uso del agua. Por último, para tratar aspectos del medio humano, tanto los datos de densidad de población como la relación de vertidos líquidos a los cauces (incluidos en los Planes Hidrológicos de las cuencas fluviales españolas) son útiles para establecer la dinámica espacio-temporal de la distribución de la población humana y la incidencia de sus actividades en los cauces.

La última fase consiste en superponer los mapas obtenidos y sintetizar la información. Esta fase requiere un conocimiento preciso de la cuenca hidrológica en estudio, dado que se trata de llegar a un compromiso entre recoger la máxima heterogeneidad ambiental de la cuenca y establecer sectores o unidades ambientales con significado ecológico y cuyos límites están marcados por la experiencia de campo y, en lo posible, por los propios límites físicos de las subcuencas.

C) *Selección de aspectos temáticos ambientales*

Para llevar a cabo la caracterización ecológica de la cuenca del río Segura, se seleccionaron cinco factores del medio físico y dos del medio humano que inciden directamente sobre las características físico-químicas y biológicas de las aguas superficiales de dicha cuenca.

El clima, en las cuencas semiáridas, como lo es la del río Segura, es uno de los aspectos temáticos más interesantes a la hora de definir, no sólo el modelo de distribución espacio-temporal del agua en los cauces, sino también el de las comunidades biológicas. Tanto la precipitación como la temperatura establecen los márgenes de tolerancia de las especies (Ward, 1985), aunque, a esta última, se le ha dado excesiva importancia en relación a la ecología de las especies.

El objetivo de este apartado es sintetizar, en unas pocas variables termo-

pluviométricas, la diversidad climática de la cuenca del río Segura para establecer una cartografía temática que pueda ajustarse, a mayor o menor escala, a los modelos de distribución espacial y temporal de los organismos terrestres y acuáticos (Vidal-Abarca *et al.*, 1987a). Para ello, se analizaron 60 variables termopluviométricas (temperaturas medias mínimas mensuales; temperaturas medias máximas mensuales; media mensual del número de días con temperatura inferior a 0° C; media mensual del número de días con temperatura superior a 30° C y precipitación media mensual), registradas en 65 estaciones meteorológicas, localizadas en la cuenca del río Segura, para un periodo de veintinueve años (1961-1981).

La morfometría fluvial constituye hoy día uno de los aspectos más interesantes de la ecología de ríos. Determinadas variables morfométricas, como el orden de los cauces (Vannote *et al.*, 1980) o combinaciones de ellas (longitud del cauce/área de drenaje, Cushing *et al.*, 1980; o caudal medio anual/área de drenaje, Hughes y Omernik, 1983), están siendo utilizadas para la caracterización ecológica de los ríos. Dado que la geomorfología fluvial busca parámetros indicadores de la dinámica física de los ríos, debe existir una relación causa-efecto entre ésta y las comunidades acuáticas o con el cuadro físico-químico de un determinado sistema fluvial.

En este apartado se trata de definir los elementos geomorfológicos con significado limnológico para tipificar y cartografiar las subcuencas en función de los mismos. Para ello se midieron y analizaron 19 variables morfométricas (Vidal-Abarca *et al.*, 1987b) aplicadas a las 61 subcuencas del río Segura.

En cuanto a los materiales geológicos de la cuenca, se ha interpretado en función de la tipología de los sustratos por los que circulan las aguas. Aunque existen muchos estudios demostrando que la naturaleza del sustrato que drenan los cauces es uno de los factores ambientales más importantes en la composición química del agua (Bobee *et al.*, 1981; Heise, 1984; Pinter y Backhaus, 1984) y en la distribución de los organismos acuáticos (Vannote y Minshall, 1982; Margalef, 1983), pocas veces este aspecto es tratado de forma adecuada. En general, cuando se pretende caracterizar ambientalmente una cuenca fluvial, aspectos como la génesis de los materiales geológicos, o los procesos de cambio a lo largo de la historia pierden importancia frente a sintetizar la tipología de los materiales en función de su textura y su composición que, evidentemente afectará a la calidad del agua que drenen (Vidal-Abarca, 1985). Para analizar este aspecto en la cuenca del río Segura, se han utilizado los mapas geológicos, a distintas escalas, publicados por el IGME (1972, 1973).

La hidrología superficial, en este caso, hace referencia a la dinámica espacio-temporal del flujo en los cauces fluviales y sus alteraciones debidas a las actividades del hombre. La forma de uso del agua en la cuenca del río Segura y las obras de control y distribución (embalses, canales de riego, ca-

nalizaciones del cauce, trasvases, etc.) encaminadas a la utilización y explotación, permite establecer zonas funcionales, de significado limnológico. Para ello, se han analizado las series de datos de caudales, registrados en 36 estaciones de aforos de la cuenca, desde 1912 a 1983 publicados por el MOPU.

Por último, dentro de los parámetros del medio físico seleccionados, se encuentra el estudio y análisis de los tipos de utilización del suelo en la cuenca del río Segura, dado que actualmente la cubierta vegetal natural se encuentra muy degradada (Montaner, 1980). No obstante, la vegetación de las cuencas de drenaje es la principal entrada de materia orgánica a los ríos (Cummins, 1974; Triska *et al.*, 1983) y su importancia dentro del balance energético de estos sistemas es, hoy día, una importante línea de investigación (Escarre *et al.*, 1986). El objetivo del estudio de los usos del suelo de la cuenca del río Segura consiste en definir áreas uniformes de uso, dado que cada uno de ellos contribuye de forma peculiar a configurar el cuadro físico-químico y biológico de los ríos de una cuenca (Hirose y Kuramoto, 1981). Para ello se han utilizado las cartografías temáticas del GRUPO DE TRABAJO REGIONAL DEL SEGURA (1980), EPYSA (1981), AZARBE (1984) y DIRECCION GENERAL DE LA PRODUCCION AGRARIA (1985).

Uno de los agentes de alteración más importantes en las cuencas fluviales es el hombre (Morisawa, 1985), tanto por su densidad y forma de ubicarse como por la diversidad de actividades que en ellas desarrolla. Su exclusión, dentro de un estudio integrado, impediría entender la dinámica fluvial en toda su extensión. En este sentido, y dentro del estudio del medio humano, se han considerado dos aspectos diferentes. El primero hace referencia a la densidad y distribución de la población humana en la cuenca del río Segura. El análisis de la población pretende, por un lado, encontrar un indicador de la presión que ejerce sobre la cuenca en su totalidad y, por otro, cartografiar el modelo espacial actual de su distribución. Se han utilizado los datos de los 86 municipios que componen administrativamente la cuenca del río Segura, publicados por el Banco Español de Crédito en los Anuarios del Mercado Español desde 1978 a 1983 (Banco Español de Crédito, 1978-1983).

El segundo aspecto a considerar, se basa en el hecho de que los ríos suelen ser lugares idóneos para verter los residuos de las actividades humanas. Los efluentes líquidos impactan gravemente en la dinámica fluvial, siendo imprescindible su estudio para explicar los cambios espaciales y temporales de la calidad físico-química y biológica de las aguas de los ríos. El inventario de los puntos de vertidos líquidos, en la cuenca del río Segura, se realizó mediante recorridos de campo y utilizando la información oficial (inventarios de la Comisaría de Aguas de la cuenca del río Segura). Su tipificación se realizó en función de su procedencia (urbano, agrícola, industrial o mixto) y su regularidad (continuo o intermitente).

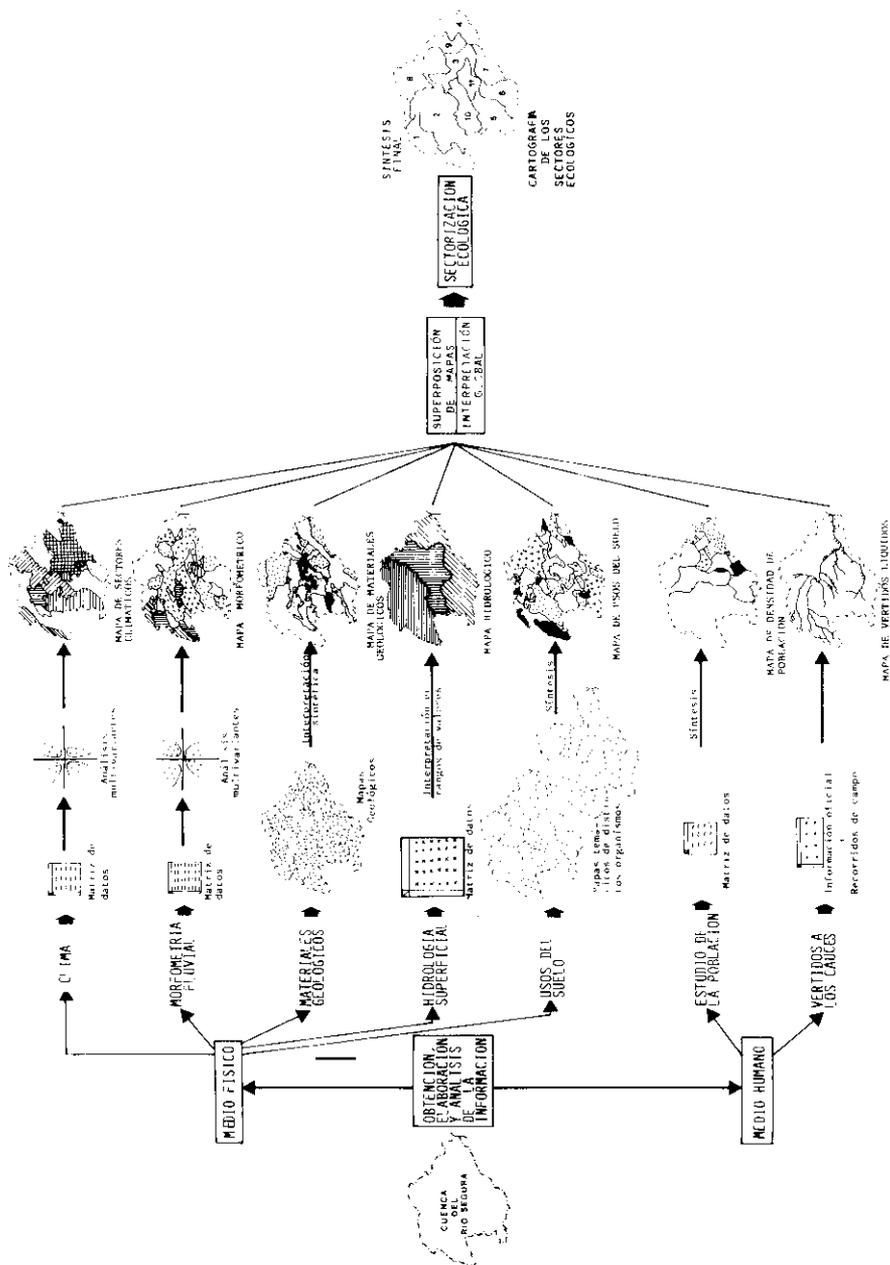


Figura 2.—Esquema metodológico desarrollado en el estudio.

3. EL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL RÍO SEGURA (SE ESPAÑA): RESULTADOS

A) *Sectorización temática*

En la figura 3, se presentan las cartografías de los cinco aspectos temáticos del medio físico analizados en la cuenca del río Segura.

En cuanto al clima, los resultados del análisis factorial permitieron definir un total de 10 sectores (fig. 3a) en la cuenca del río Segura, cuyas características se sintetizan en el cuadro 1 (Vidal-Abarca *et al.*, 1987a). Claramente se detectan gradientes discontinuos desde un sector húmedo y fresco situado en el NO, hasta cualquier otro de carácter semiárido e incluso árido. Entre ellos se localizan sectores más o menos amplios a modo de «islas» de gran interés ecológico.

El estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas, permitió definir un total de 15 tipos de subunidades (Vidal-Abarca *et al.*, 1987b) cuyas características se presentan en el cuadro 2 y se cartografían en la figura 3b. Nuevamente, se detectan gradientes morfométricos desde el NO, donde se sitúan las subcuencas más pequeñas en extensión, de forma rectangular y drenadas por una laxa red de cauces con aguas permanentes, hasta cualquier otra dirección de la misma, donde las subunidades, grandes en extensión y de forma cuadrangular y triangular, están drenadas por una densa red de cauces de aguas temporales y/o ramblas.

Los materiales geológicos de la cuenca, de forma general, pueden clasificarse como detríticos, fácilmente erosionables y de naturaleza caliza y margo-arcillosa. La cartografía sintética que se presenta en la figura 3c, se realizó en función del aporte potencial cualitativo y cuantitativo de elementos conservativos a las aguas de la cuenca, de los distintos materiales que conforman el sustrato. En el cuadro 3 se esquematiza la localización, definición y composición de las cinco unidades geológicas definidas en la cuenca del río Segura (Vidal-Abarca, 1985).

El análisis de los caudales del río Segura, permitió clasificar su régimen hídrico como pluvio-nival-mediterráneo. Los afluentes, desde la cabecera a la desembocadura, mantienen la secuencia de aridez detectada en el estudio climático. La construcción de 18 embalses en la cuenca del río Segura, como forma de regularizar los caudales y almacenar agua para el regadío, ha alterado la dinámica hidráulica actual: los picos de desagüe que antes de la regulación se producían en otoño, ahora se sitúan en verano, cuando lo demanda el sector agrícola. Esta demanda es tan importante que provoca un desequilibrio en el ciclo hidrológico natural, de manera que cada sector de la cuenca puede ser tipificado en función del papel hidrológico que juega (fig. 3d). En el cuadro 4, se presentan las características más importantes de cada sector.

Cuadro 1
**CARACTERÍSTICAS TERMOPLUVIOMETRICAS DE LOS 10 SECTORES CLIMATICOS DEFINIDOS
 EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA**

Número	Sector	Localización	Tempera- tura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm.)	Déficit hídrico	Heladas	Altitud media (m.)
1	Fresco y húmedo	Noroccidental y Sierra de Es- puña	15	400-1.179	No	Si	1.000
2	Carácter continental	Norte, Este, Sur y Sierra de Moratalla	15	500	4 meses	3 meses	700
3	Templado y húmedo	Suroccidental y central	13	400	2 ó 3 meses	5 ó 6 meses	800
4	Transición a seco-cálido	Centro-Noroeste	16	400	4 ó 5 meses	2 meses	600
5	Seco y relativamente be- nigno	Centro-Norte, Embalse de la Cierva y Sierra Pila	16-17	300-400	6 ó 7 meses	6 ó 7 meses	300
6	Seco y cálido relativa- mente árido	Centro-Este	17	300	8 ó 9 meses	2 meses	200
7	Transición a la aridez	Faldas Sierra Espuña y Sie- rra del Oro (Abarán)	18	300	6 meses	No	500
8	Árido	Término municipal Abanilla	20	284	Permanente	No	200
9	Muy seco y cálido	Vega Media río Guadalentín	17	250	Casi permanente	No	300
10	Influencia cálida del Me- diterráneo	Litoral	17	300	9 meses	No	0-100

Cuadro 2
 CARACTERÍSTICAS MORFOMETRICAS DE LOS 15 TIPOS DE SUBCUENCAS DEFINIDOS
 EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA

N.º	Tipo	Número de subcuencas	Red de drenaje	Tipología de cauces 2.º	Tamaño de subcuencas	Forma de subcuencas
1	Río Madera	1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 14	Laxa	Permanentes	Pequeño	Rectangular
2	Río Tus	5, 9, 10, 26	No muy densa	Mayoría permanentes	Medio	Rectangular
3	Río Taibilla alto	6	Laxa	Mayoría temporales	Medio	Rectangular
4	Río Comeros. Velez Rubio	7, 34, 43	Simétrica y laxa	Ramblas	Medio	Rectangular
5	Río Segura. Emb. Fuensanta	8	Simétrica y no densa	Permanentes, temporales	Medio	Triangular
6	Río Segura. Elche Sierra	15, 46	Amplia y disimétrica	Mayoría de ramblas	Medio	Circular
7	Arroyo de Letur	16, 17, 23, 32, 58	Densa	Mayoría de ramblas	Pequeño	Rectangular
8	Rambla de Tobarra	18, 53	Media densa	Ramblas	Muy grande	Ovalada
9	Rambla del Agua Amarga	19, 20, 21, 24, 31, 33, 35, 38, 44, 45, 51	Muy densa en la cabecera	Ramblas	Medio-pequeño	Triangular
10	Río Turrilla	22, 29, 30, 50, 52, 54	Densa, muy jerarquizada	Ramblas	Grande	Redondeada
11	Río Segura. Las Minas	25, 36, 39	—	No presenta	Pequeño	Cuadrangular
12	Río Argos	27, 28, 57	Densa en cabecera	Mayoría de ramblas	Grande	Rectangular
13	Rambla del Tinajón	37, 40, 41, 42, 55, 56, 59, 60	Densa	Mayoría de ramblas	Medio	Varias
14	Rambla de Torrealvilla	47, 48, 61	Densa	Mayoría de ramblas	Grande	Cuadrangular
15	Rambla Salada. Alcantarilla	49	Laxa	Mayoría de ramblas	Medio	Rectangular

Cuadro 3
**LOCALIZACION, DEFINICION Y COMPOSICION DE LAS 5 UNIDADES GEOLOGICAS DEFINIDAS
 EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA**

Número	Nombre	Material geológico	Localización	Observaciones
1	Rocas carbonatadas consolidadas	Calizas, calcarenitas y margo-calizas del Cretácico y Jurásico	Norte y Oeste	Aportan carbonatos al agua de escorrentía. En áreas de la cuenca con esta tipología de sustrato se han medido valores de alcalinidad superiores a 20 meq/l.
2	Margas del Neogeno	Margas del Mioceno y Plioceno	Centro y Este	Aporta concentraciones altas de CaCO_3 (> 10 meq/l), Cl^- (200 mg/l) y SO_4^{2-} (> 500 $\mu\text{g-at S-SO}_4^{2-}/\text{l}$.)
3	Margas del Keuper	Margas abigarradas verdosas del Keuper	Franja discontinua central del SO al E	Aportan concentraciones elevadísimas de Cl^- (300 mg/l) y SO_4^{2-} (> 2.000 $\mu\text{g-at S-SO}_4^{2-}/\text{l}$.)
4	Cuaternario aluvial	Margas y calizas de relieves circundantes	Noroeste y valle del río Segura	Composición diversa pero siempre caliza
5	Cuaternario indiferenciado	Formas de modelado (glacis, coluvios, etc.)	Cubetas del Oeste, Sur y Sureste	Composición diversa y compleja

Cuadro 4
**CARACTERÍSTICAS HIDRICAS DE LAS 3 ZONAS HIDROLOGICAS DEFINIDAS
 EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA**

Número	Zona	Caudal (Hm ³ /año)	VARIABILIDAD ANUAL		Irregularidad interanual	EMBALSES		Papel hidrologico
			Máximo	Mínimo		Número	Capacidad (Hm ³)	
1	De captura del agua	Hasta 500	Octubre	Marzo-abril	3,1	8	762,76	Recogida, almacenamiento y control del agua
2	De distribución del agua	600	Julio-agosto	Febrero-marzo	2,1	6	42,61	Extracción de más del 81 % del caudal circulante, para regadío
3	Deficitaria de agua	Hasta 100	Dependiente de las condiciones climáticas del sector		150,5	4	223,00	Escasez de agua durante todo el ciclo anual. Circulación de vertidos líquidos

La vegetación natural de la cuenca del río Segura, se encuentra actualmente en un estado grave de degradación (EPYPSA, 1981). La tala del estrato arbóreo, el pastoreo abusivo, las roturaciones del terreno para dedicarlos al cultivo de secano y la severidad del clima, son algunos de los factores que han contribuido a ello. En esta situación, resulta más efectivo hablar de usos del suelo que de vegetación natural. En la figura 3e, se presenta la distribución de los cinco usos del suelo más importantes de la cuenca del río Segura y en el cuadro 5, se denominan, localizan y comentan algunas de sus peculiaridades.

En relación al medio humano, el estudio de la densidad de población, por municipios (fig. 4a) pone de manifiesto un modelo de distribución heterogéneo, caracterizado por la concentración de la población en tres ejes siguiendo los ríos Mundo, Guadalentín y Segura. Esta concentración supone alrededor de un 70 % de la población total de la cuenca, que ocupa sólo el 11,83 % de su superficie, lo que ha provocado la densificación de viviendas en zonas de vega donde el suelo manifiesta una vocación eminentemente agrícola (Vidal-Abarca, 1985).

En cuanto a los vertidos líquidos, se han censado un total de 195 que evacúan directamente a los cauces de la cuenca. De ellos, 97 son de origen urbano (85 continuos y 12 intermitentes), provenientes de núcleos ribereños. En muchas ocasiones, las industrias, principalmente conserveras, suelen estar conectadas al alcantarillado, resultando, además, 44 vertidos continuos urbano-industriales y tres de carácter intermitente. Algunos vertidos de procedencia urbana también pueden combinarse con otros agrícolas (tres continuos y tres intermitentes). Los efluentes industriales son menos numerosos, habiéndose censado 21 continuos y 24 intermitentes. En la figura 4b se sintetizan el número de vertidos líquidos y su caudal, tipificados y agrupados por áreas hidrológicas, dada la imposibilidad de localizarlos geográficamente en una cartografía de gran escala.

B) Sectores ecológicos: descripción

Siguiendo el esquema metodológico de trabajo, en la figura 5 se presenta la cartografía de los sectores ecológicos de la cuenca del río Segura, obtenidos tras la superposición de cada una de las resultantes en los temas tratados (Vidal-Abarca, 1985). En total se han definido 11 sectores cuyas características del medio físico y humano se sintetizan en el cuadro 6 y a continuación se comentan. La delimitación de cada sector se ha hecho coincidir, en lo posible, con las subcuencas, dado que estas serían las subunidades de menor rango con significado práctico en la ordenación territorial. Cada sector ha sido interpretado en función de la hidrología y del uso humano como condicionantes del resto de parámetros ambientales analizados.

Cuadro 5
**LOCALIZACIÓN, COMPOSICIÓN Y TIPOLOGÍA DE LOS 5 USOS DEL SUELO DEFINIDOS
 EN LA CUENCA DEL RÍO SEGURA**

N.º	Usos del suelo	Extensión (%)	Localización	Tipología	Observaciones
1	Áreas de cultivo de regadío	50	Zonas de Vega	Agríos, frutales y hortalizas	La extensión de este uso depende directamente de la disponibilidad de agua
2	Áreas de cultivo de secano	10	Sectores Este y Sur, a manera de manchas	Olivo, almendro, vid, cebada y trigo	Expansión actual de la cebada (resistente a la aridez) y la vid
3	Áreas de matorrales y eriales	16	Sector central, a manera de manchas	Forma regresiva del antiguo bosque mediterráneo	Más del 75 % de estas áreas sufren procesos muy graves de erosión
4	Áreas con estrato arbóreo	34	Sector noroeste-centro	<i>Pinus halepensis</i> , <i>P. laricio</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. sylvestris</i>	La mayoría son bosques repoblados. La explotación forestal es muy escasa
5	Áreas de protección especial	7,3	Muy dispersa	25 espacios catalogados	De los cuales tres son Parques Naturales y dos son estatutos específicos de protección

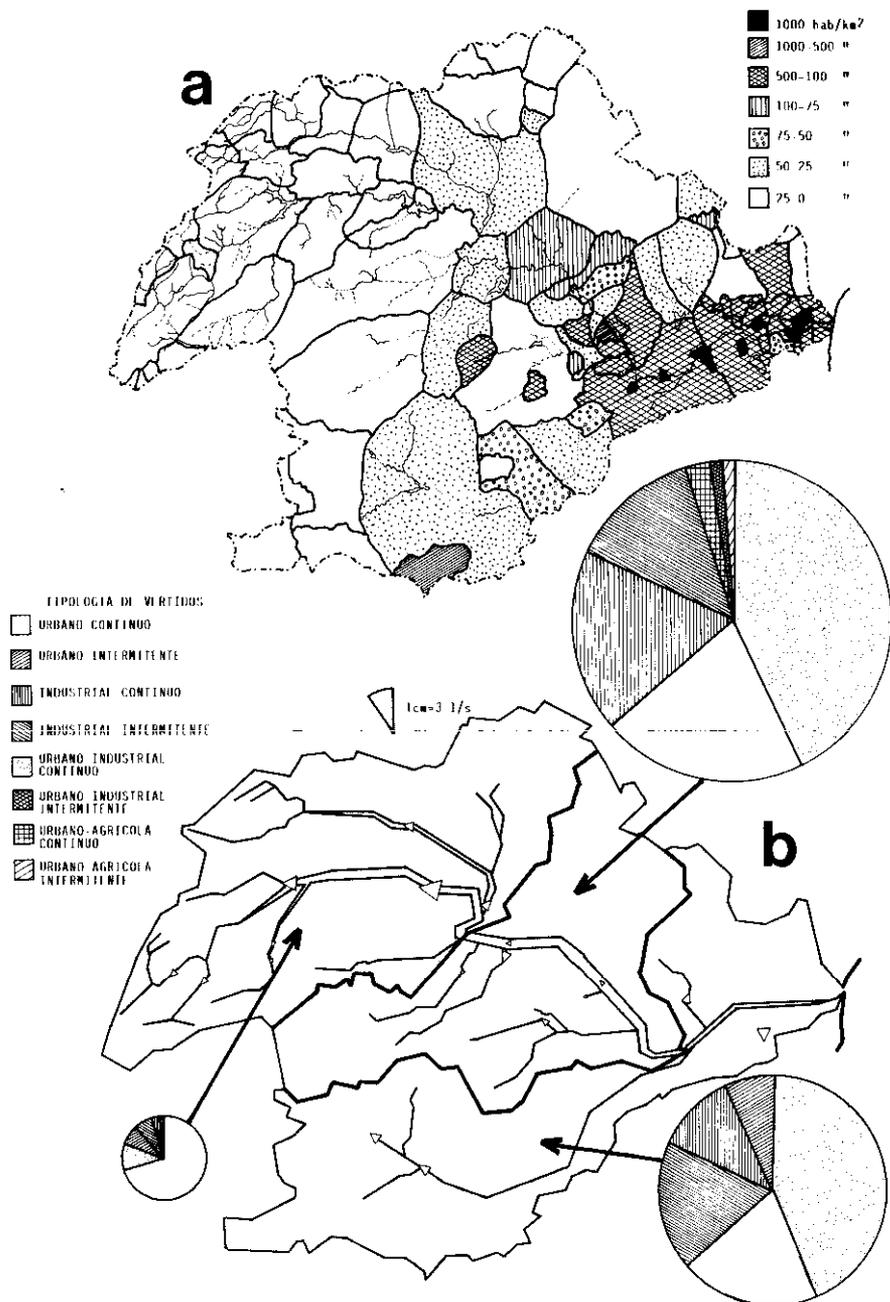


Figura 4.—Cartografías sintéticas de los aspectos del medio humano analizados en la cuenca del río Segura. a: Densidad de población/municipios; b: Vertidos líquidos.

- 1.- Zona de captura de agua y de escasa incidencia humana.
 2.- Zona de reserva de agua y de baja densidad de población.
 3.- Zona de consumo de agua y densamente poblada.
 4.- Zona deficitaria de agua y densamente poblada.
 5.- Zona de reserva de agua del Guadalentín de densidad media de población.
 6.- Zona de consumo de agua del Guadalentín de densidad media de población.
- 7.- Zona deficitaria de agua del Guadalentín densamente poblada.
 8.- Zona del altiplano Yecla-Jumilla.
 9.- Zona árida de Fortuna-Abanilla.
 10.- Zona de las cuencas de los Ríos Argos-Quipar.
 11.- Zona de la cuenca del Río Mula.

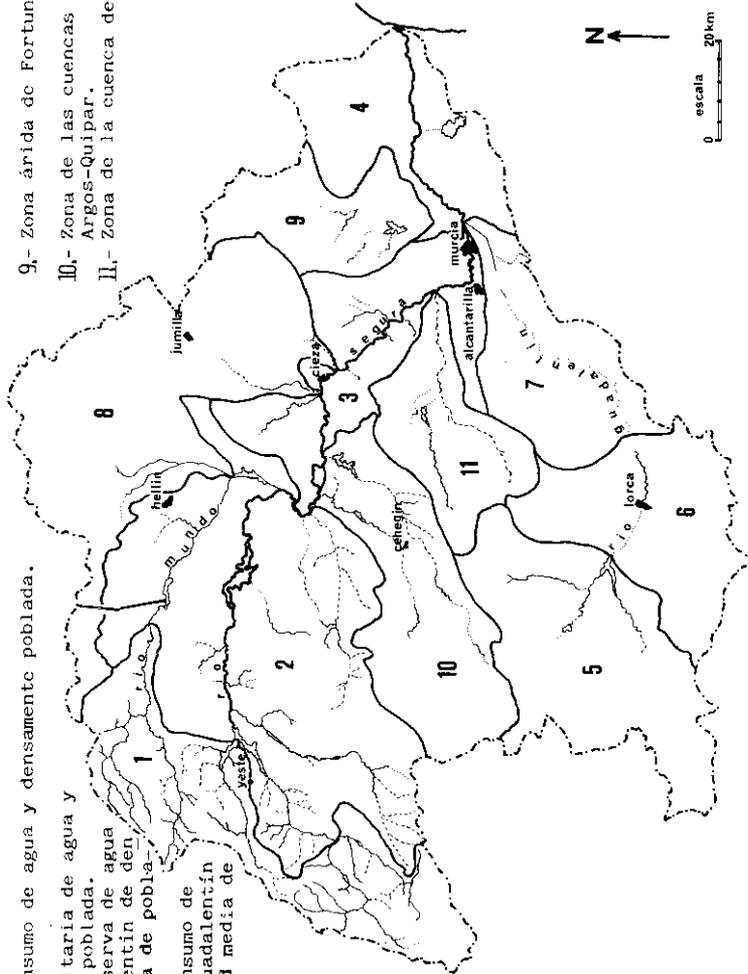


Figura 5.—Cartografía de los sectores ecológicos definidos en la cuenca del río Segura.

Cuadro 6
**CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y DEL MEDIO HUMANO DE LOS 11 SECTORES ECOLOGICOS
 DEFINIDOS EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA**

N.º	Sector ecológico	Extensión (km ²)	Morfometría fluvial/hidrologica	Clima	Tipología sustrato	Usos del suelo	Espacios catalogados		Población (hab/km ²)	Vertidos líquidos	
							N.º	Ha.			
1	Zona de captura de agua y de escasa incidencia humana	1.626,0	Subcuencas pequeñas. Red de drenaje laxa. Cauces permanentes	Fresco y húmedo	Rocas carbonatadas	Bosque	5	105.783	25	31	85,5
2	Zona de reserva de agua y de baja densidad de población	2.888,3	Subcuencas medianas. Cauces temporales y permanentes	Seco y cárido	Predominio de rocas carbonatadas	Predominio de matorrales y eriales	7	21.115	25	23	43,0
3	Zona de consumo de agua y densamente poblada	1.078,3	Subcuencas pequeñas. Alteración morfológica de los cauces	Bastante árido	Cuaternario aluvial, marino y Keuper	Cultivos de regadío	3	5.624	25-500	59	548,6
4	Zona deficitaria de agua y densamente poblada	951,0	Subcuencas grandes. Estuario	Influencia cálida del Mediterráneo	Predominio Cuaternario indiferenciado	Cultivos de regadío	2	1.399	500-1.000	29	278,7

5	Zona de reserva de agua del Guadalupe y media de población	1.542,0	Subcuencas grandes. Redes muy densas. Ramblas y cauces permanentes	Cálido, relativamente húmedo	Predominio de rocas carbonatadas	Bosques y cultivos de secano	2	5.800	25-500	2	6,0
6	Zona de consumo de agua del Guadalupe y densidad media de población	1.065,9	Subcuencas grandes. Redes muy densas. Ramblas	Seco y cálido. Continentalidad	Predominio Cuaternario indiferenciado	Cultivos, matorrales y eriales	1	10.000	50-100	6	324,0
7	Zona deficitaria de agua del Guadalupe y densamente poblada	919,3	Subcuencas medianas. Alteración de los cauces	Seco y cálido, relativamente árido	Predominio Cuaternario indiferenciado y margas Neógeno	Cultivos	1	2.600	500-1.000	8	161,5
8	Zona del altiplano Yecla-Jumilla	2.181,3	Subcuencas grandes casi endorreicas. Ramblas	Seco y cálido. Continentalidad	Predominio margas del Neógeno	Cultivos secano	2	5.874	25-50	2	2,3
9	Zona árida de Fortuna-Abanilla	682,4	Subcuencas pequeñas. Cauces temporales y ramblas	Seco, cálido y muy árido	Cuaternario indiferenciado, margas	Cultivos secano, matorrales y eriales	1	4.000	25-50	1	inap.
10	Zona de las cuencas de los ríos Argos y Quipar	1.326,1	Subcuencas grandes. Redes densas en la cabecera	Seco y benigno con carácter árido	Complejidad espacial de materiales	Complejidad espacial de usos	1	2.838	25-50	17	90,3
11	Zona de la cuenca del río Mula	668,0	Subcuencas pequeñas. Cauces permanentes, temporales, ramblas	Seco y cálido, relativamente árido	Predominio margas del Neógeno	Predominio cultivos de secano	0	—	25	10	127,8

1. *Zona de captura de agua y de escasa incidencia humana:* Es un estrecho sector situado al NO de la cuenca, estructurado morfológicamente en subunidades pequeñas, recorridas por redes laxas de drenaje, donde todos los cauces mantienen agua de forma permanente a lo largo de un ciclo hidrológico anual. El clima, húmedo y fresco, y el estrato arbóreo bien conservado, ayudan a mantener un caudal constante de agua. Los materiales geológicos están constituidos básicamente por rocas carbonatadas. Es uno de los sectores de más baja densidad de población, dado que actualmente, está sufriendo un constante proceso de despoblamiento. Las actividades humanas que en él se desarrollan, van dirigidas a la repoblación y explotación forestal. Es el sector donde se localiza la mayor extensión de espacios catalogados para su protección.

2. *Zona de reserva de agua y de baja densidad de población:* Ocupa el sector Oeste de la cuenca, a excepción de la franja anterior. En él se localizan los embalses más importantes, en cuanto al efecto de regulación que ejercen sobre los caudales del río Segura. El clima, de carácter continental, determina un importante número de cauces temporales y de ramblas. El estrato vegetal presenta un modelo espacial complejo constituido, a modo de mosaico, por matorrales de distinta tipología, resultado de procesos de degradación del estrato arbóreo y del abandono del secano que era, antiguamente, el principal uso del suelo del sector. De igual manera, el material geológico, constituido por rocas carbonatadas, presenta manchas, más o menos dispersas, de materiales neógenos (margas), muy blandos y deleznable. Este sector también sufre un importante despoblamiento, como consecuencia de la construcción de los embalses Fuensanta y Cenajo, que anegaron los escasos suelos aluviales de la zona.

3. *Zona de consumo de agua y densamente poblada:* Se sitúa en el centro de la cuenca, ocupando una estrecha franja a ambos lados del río Segura. Hidrológicamente es independiente del clima y de la morfometría fluvial, dado que aparece constantemente abastecida por las dos zonas anteriores. Toda la política hidráulica desarrollada en la cuenca, tiene como objetivo lineal potenciar este sector dedicado a la agricultura de regadío, que se ubica sobre un sustrato de materiales aluviales. Sin embargo, hoy día se encuentra en competencia con la expansión urbana de las ciudades que en él se asientan, dado que es el sector donde se concentra el mayor porcentaje de la población. Inevitablemente sus actividades, sobre el suelo (destrucción del bosque de galería, urbanización, etc.) y sobre el agua (es el sector donde se concentra el mayor número de vertidos líquidos) impiden otros posibles usos de los recursos, comprometiendo, entre otros, la calidad de agua.

4. *Zona deficitaria de agua y densamente poblada:* Se localiza en el sector más oriental de la cuenca y en ella concurren tres características ambientales que definen su constante déficit de agua. El clima, de carácter

árido y únicamente atenuado por la influencia marina; la ausencia casi total de un estrato vegetal conservado y constituido, en la actualidad, por amplias extensiones de espartizales abandonados, a excepción de una pequeña franja, a ambos lados del río Segura, dedicadas a la agricultura de regadío; y a la acaparación casi total del agua en el sector anterior. Por el río Segura únicamente discurren los vertidos líquidos de los pueblos ribereños. Los escasos caudales de agua que abastecen la vega llegan a través de un complejo sistema de regadío que nace en el sector anterior.

5. *Zona de reserva de agua del Guadalentín de densidad media de población:* Está constituida por la cabecera de este río, de clima frío y relativamente húmedo, donde las escasas lluvias son recogidas en dos embalses, hoy día, prácticamente colmatados. El sustrato geológico está constituido por rocas carbonatadas y margas del Neógeno y desprovisto de una cubierta vegetal importante, de manera que son muy escasos los cauces que mantienen agua de forma permanente. La actividad humana sobre el suelo es fundamentalmente, la agricultura de secano y la densidad de población es relativamente baja, dado que se localizan núcleos urbanos importantes que absorben un alto porcentaje de la misma.

6. *Zona de consumo de agua del Guadalentín de densidad media de población:* Se localiza en el centro de esta subcuenca, abastecida por los escasos caudales reservados en los embalses de la cabecera y por la abusiva extracción de aguas subterráneas. El agua discurre por canales y el río permanece seco la práctica totalidad del ciclo hidrológico anual. Este sector es, pues, hidrológicamente independiente del clima y de la morfometría fluvial. La excesiva explotación de los acuíferos y las expectativas creadas con la llegada del trasvase Tajo-Segura, ha provocado la concentración de una importante población humana en zonas alejadas de los cauces pero con escasa perspectiva de futuro.

7. *Zona deficitaria del Guadalentín densamente poblada:* Este sector, localizado en la desembocadura del río Guadalentín, carece absolutamente de agua. Todos los cauces funcionan como ramblas y el gradiente de aridez y sequedad detectados desde el NO de la cuenca hacia cualquier otra dirección, se hace extremo en este sector.

8. *Zona del altiplano Yecla-Jumilla:* Se localiza en el sector nororiental de la cuenca. Todos los aspectos ambientales que concurren en esta zona manifiestan una importante homogeneidad. El clima, de carácter continental, el sustrato geológico, blando, constituido por materiales del Cuaternario y la cubierta vegetal de matorrales, espartizales y amplias superficies dedicadas al cultivo de la vid, configuran un modelo de subcuencas grandes y redondeadas de drenaje estacional. Así, esta zona funciona como una unidad endorreica, sin intervenir en la dinámica fluvial, a nivel de cuenca. La

población humana tiende a concentrarse en grandes núcleos urbanos, proporcionando una densidad media muy baja (inferior a 30 hab/km²).

9. *Zona árida de Fortuna-Abanilla*: Situada al este de la cuenca, constituye un pequeño sector donde se concentran los caracteres más áridos de toda la cuenca. El clima puede definirse como extremo, fundamentalmente por las precipitaciones medias, que no superan los 280 mm. anuales. La cubierta vegetal, muy degradada, está formada por matorrales y eriales y el sustrato, muy blando de margas, aparece salpicado por materiales del Keuper que aportan constantemente sales a los escasos cursos de agua que atraviesan el sector. Hidrológicamente, funciona también, como una cuenca endorreica, dado que los dos cauces que componen la red de drenaje están regulados por embalses o por canales de derivación. En esta situación, la densidad de población humana es muy baja, como corresponde con una región de caracteres ambientales extremos.

10. *Zona de las cuencas de los ríos Argos y Quípar*: Se localiza en el centro-norte de la cuenca, ambas con forma alargada, igual dirección en el drenaje e idéntico modelo de utilización del agua. La zona de las cabeceras, que climatológicamente están clasificadas como secas y frescas, mantienen un importante número de cauces temporales y de ramblas. Los escasos caudales que se recogen son derivados por canales para abastecer pequeños sectores agrícolas situados, aproximadamente en el centro de ambas unidades y donde se concentra la población humana. El tramo final, en ambos ríos, está controlado por embalses, de manera que apenas aportan agua al cauce principal. El sustrato presenta un modelo complejo de materiales, así como la utilización del suelo.

11. *Zona de la cuenca del río Mula*: Situada en el centro de la cuenca del río Segura, es una unidad drenada por el río Mula y sus afluentes, de clima seco y cálido. Su cabecera funciona hidrológicamente como zona de captura, de reserva y consumidora de la casi totalidad del agua, dado que aparece regulada por el embalse de la Cierva que retiene totalmente los caudales del río. El resto de la subcuenca es deficitaria en agua, sólo subsanada por la detracción de algunos caudales del embalse que riegan un estrechísima vega, situada a ambos márgenes del río. En cuanto a los materiales geológicos, predominan las margas néogenas y el principal uso del suelo es la agricultura de secano, entre la que se intercalan manchas, más o menos extensas, de matorrales y eriales.

4. DISCUSIÓN: ASPECTOS BÁSICOS Y APLICADOS

El esquema metodológico que se propone en este estudio, constituye un intento para integrar distintos aspectos temáticos del medio físico y humano a la dinámica de las cuencas fluviales.

La unidad estructural y funcional de las cuencas de drenaje es un concepto rara vez utilizado, aunque sí difundido, por los planificadores y gestores de los valores naturales, posiblemente por la dificultad de sintetizar e integrar diferentes aspectos ambientales responsables de las variaciones espaciales y temporales de un territorio.

A nivel metodológico, la propuesta de este estudio presenta muchos puntos coincidentes con la utilizada por Hughes y Omernik (1981) para determinar ecorregiones. En ambos casos el objetivo es similar: obtener regiones de relativa homogeneidad ecológica (Omernik, 1987). Sin embargo, para estos autores, cualquier región geográfico-administrativa tendría entidad suficiente para aplicar la metodología y definir sus ecorregiones. En este caso, se trata de aplicarlo a las cuencas hidrológicas, entendidas como unidades estructurales, funcionales, de ordenación y gestión territorial (Watt, 1978; William *et al.*, 1986). Por otro lado, para estos autores existen cuatro aspectos temáticos que pueden resumir las variaciones espaciales de un territorio: usos del suelo, formas de la superficie, vegetación potencial y tipología de los suelos; sin considerar que las actividades humanas (densidad de población, vertidos líquidos, etc.) suelen constituir el elemento perturbador más importante de las condiciones naturales de un territorio (Ozenda, 1986). Así, pues, en el esquema propuesto, las actividades humanas aparecen cartografiadas (fig. 4) e integradas (cuadro 6) en los sectores ecológicos definidos en la cuenca del río Segura.

Para averiguar el ajuste existente entre los sectores ecológicos definidos en la cuenca del río Segura y la hidroquímica de superficie y la distribución espacial de poblaciones biológicas con distintos requerimientos ecológicos, se han elaborado el cuadro 7 y la figura 6. En el primero se sintetizan, para cada sector, el cuadro físico-químico del agua obtenido tras aplicar conjuntamente técnicas multivariantes de ordenación y de clasificación, a los valores de 22 parámetros físico-químicos recogidos en 349 estaciones de muestreo, situadas en distintos cuerpos de agua de la cuenca del río Segura (Vidal-Abarca, 1985); las poblaciones de peces cartografiadas por Mas (1986) que, dada su alta movilidad, en comparación con otras taxocenosis acuáticas, actuarían como indicadores biológicos macroscópicos, o a gran escala y, por último la distribución de las comunidades microbianas algas de pecton y plocon y macrófitos, extraída de Aboal (1986), como componentes bentónicas dependientes de las características ambientales, a menor escala, de los cuerpos de agua. En la figura 6 se esquematizan las cartografías obtenidas tras superponer la de los sectores ecológicos de la cuenca del río Segura a cada una de las comentadas anteriormente, incluyendo, además, la de los moluscos de las aguas continentales obtenida por Gómez (1988) para la cuenca del Segura y que, por sus requerimientos ambientales, a escala más fina, no resulta concordante con la cartografía de sectores ecológicos.

Como se observa, y a excepción de la cartografía de distribución de los

Cuadro 7

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE SUPERFICIE, COMUNIDADES DE PECES DE AGUA DULCE; COMUNIDADES MICROBIANAS, ALGAS DEL PECTON Y PLOCON Y MACROFITOS, DE CADA UNO DE LOS SECTORES ECOLÓGICOS DEFINIDOS EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA

N.º	Sector ecológico	Composición físico-química de las aguas superficiales	Comunidades de peces	Comunidades microbianas; algas del pecton y plocon y macrofitos
1	Zona de captura de agua y de escasa incidencia humana	Aguas no contaminadas (\bar{x} = 15,06 mg. O ₂ /l.; 3,5 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 0,08 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) y no mineralizadas (\bar{x} = 379,5 µmhos/cm.)	Trucha común (<i>Salmo trutta fario</i>). Repoblaciones con Trucha arco iris (<i>Salmo gairdneri</i>)	BRIOFITOS: <i>Barbula ehrenbergii</i> , <i>Bryum pseudotriquetrum</i> , <i>Fissidens crassipes</i> , <i>F. grandifrons</i> , <i>Fontinalis hydroides</i> , <i>Rhynchostegium riparoides</i> . LIQUENES: <i>Verrucaria aquatilis</i> , <i>V. margacea</i> . CIANOFICEAS: <i>Aphanotece saxicola</i> , <i>Oscillatoria bornetii</i> , <i>O. princeps</i> , <i>Nostoc verrucosum</i> . RODOFICEAS: <i>Audouinella pygmaea</i> . DIATOMEA: <i>Cymbella caespitosa</i> . CLOROFICEAS: <i>Chaetophora incrassata</i> , <i>Chlorosyrium cataractarum</i> , <i>Draparnaldia glomerata</i> , <i>Microspora abbreviata</i> , <i>Ulothrix oscillarina</i> , <i>U. zonata</i> . CAROFITAS: <i>Nitella tenuissima</i>
2	Zona de reserva de agua y de baja densidad de población	Aguas no contaminadas (\bar{x} = 12 mg. O ₂ /l.; 25 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 2,4 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) de mineralización media (\bar{x} = 620 µmhos/cm.)	Trucha común. Repoblaciones Trucha arco iris. Gobio, introducido por Trasvase Tajo-Segura. Perca americana en embalses	
3	Zona de consumo de agua y densamente poblada	Aguas eutrofizadas (\bar{x} = 10,7 mg. O ₂ /l.; 13 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 12,8 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) y algo mineralizadas (\bar{x} = 1878 µmhos/cm.)	Gambusia (<i>Gambusia affinis</i>), anguila, barbo (<i>Barbus sclateri</i>) y carpa	Zona transición: Gambusia, anguila y barbo (<i>Barbus sclateri</i>)
4	Zona deficitaria de agua y densamente poblada	Aguas contaminadas (\bar{x} = 4,8 mg. O ₂ /l.; 13 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 84 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) de mineralización media (\bar{x} = 2415 µmhos/cm.)	Gambusia y anguila	DIATOMEA: <i>Cymbella tumida</i> . CAROFITAS: <i>Chara contraria</i> , <i>C. globularis</i> , <i>Nitella confervacea</i> BACTERIAS: <i>Beggiatoa alba</i> , <i>Sphaerotilus natans</i> . CIANOFICEAS: <i>Oscillatoria boryana</i> . XANTOFICEAS: <i>Tribonema minus</i> . FANEROGAMA: <i>Lemna gibba</i>

<p>Aguas contaminadas (\bar{x} = 10 mg. $O_2/l.$; 50 $\mu g-atN-NO_3^-/l.$; 89 $\mu g-atP-PO_4^{3-}/l.$) muy mineralizadas (\bar{x} = 3353 $\mu mhos/cm.$)</p>	<p>Zona estuario: Anguila, blenio (<i>Blennius fluviatilis</i>), carpa, carpín (<i>Carasius auratus</i>) y gambusia</p>	<p>CIANOFICEA: <i>Lyngbya martensiana</i>. CLOROFICEA: <i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>. ALGAS MARINAS: <i>Dicetyota dichotoma</i>; <i>Dictyopteris membranacea</i></p>
<p>5 Zona de reserva de agua del Guadalentín de densidad media de población</p>	<p>Barbo (<i>Barbus sclateri</i>). En embalses: carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)</p>	<p>DIATOMEA: <i>Cymbella tumida</i>. CAROFITAS: <i>Chara contaria</i>, <i>C. globularis</i>, <i>Nitella confervacea</i></p> <p>XANTOFICEA: <i>Vaucheria dichotoma</i>. CLOROFICEA: <i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>. CAROFITAS: <i>Chara aspera</i>. FANEROGAMA: <i>Ruppia drepanensis</i></p>
<p>6 Zona de consumo de agua del Guadalentín en densidad media de población</p>	<p>Aguas eutrofizadas (\bar{x} = 10,5 mg. $O_2/l.$; 42,8 $\mu g-atN-NO_3^-/l.$; 2 $\mu g-atP-PO_4^{3-}/l.$) muy mineralizadas (> 5000 $\mu mhos/cm.$)</p>	<p>BACTERIAS: <i>Beggiatoa albal</i>, <i>Sphaerotilus natans</i>. CIANOFICEA: <i>Oscillatoria boryana</i>. XANTOFICEA: <i>Tribonema minus</i>. FANEROGAMA: <i>Lemna gibba</i></p>
<p>7 Zona deficitaria de agua del Guadalentín y densamente poblada</p>	<p>Aguas contaminadas (\bar{x} = 4,8 mg. $O_2/l.$; 13 $\mu g-atN-NO_3^-/l.$; 84 $\mu g-atP-PO_4^{3-}/l.$) de mineralización media (\bar{x} = 2415 $\mu mhos/cm.$)</p>	<p>BACTERIAS: <i>Beggiatoa albal</i>, <i>Sphaerotilus natans</i>. CIANOFICEA: <i>Oscillatoria boryana</i>. XANTOFICEA: <i>Tribonema minus</i>. FANEROGAMA: <i>Lemna gibba</i></p>
<p>8 Zona del Altiplano Yecla-Jumilla</p>	<p>Sin clasificar</p>	<p>BACTERIAS: <i>Beggiatoa albal</i>, <i>Sphaerotilus natans</i>. CIANOFICEA: <i>Oscillatoria boryana</i>. XANTOFICEA: <i>Tribonema minus</i>. FANEROGAMA: <i>Lemna gibba</i></p>
<p>Aguas eutrofizadas (\bar{x} = 9,9 mg. $O_2/l.$; 22 $\mu g-atN-NO_3^-/l.$; 12,6 $\mu g-atP-PO_4^{3-}/l.$) muy mineralizadas (> 5000 $\mu mhos/cm.$)</p>	<p>Ausencia de peces</p>	<p>CIANOFICEA: <i>Lyngbya aestuarii</i>. XANTOFICEA: <i>Vaucheria dichotoma</i>. DIATOMEAS: <i>Cymbella tumida</i>, <i>Melosira juergensii</i>, <i>M. moniliformis</i>. CAROFITAS: <i>Chara aspera</i>, <i>Nitella confervacea</i></p>

Cuadro 7 (Continuación)

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DE SUPERFICIE, COMUNIDADES DE PECES DE AGUA DULCE; COMUNIDADES MICROBIANAS, ALGAS DEL PECTON Y PLOCON Y MACROFITOS, DE CADA UNO DE LOS SECTORES ECOLÓGICOS DEFINIDOS EN LA CUENCA DEL RIO SEGURA

N.º	Sector ecológico	Composición físico-química de las aguas superficiales	Comunidades de peces	Comunidades microbianas; algas del pecton y plocon y macrofitos
9	Zona árida de Fortuna-Abanilla	Aguas eutrofizadas muy mineralizadas	Ausencia de peces	CIANOFICEA: <i>Lyngbya aestuarii</i> . XANTOFICEA: <i>Vaucheria dichotoma</i> . DIATOMEA: <i>Melosira juergensii</i> . CAROFITAS: <i>Chara aspera</i>
10	Zona de las cuencas de los ríos Argos y Quipar	Aguas eutrofizadas (\bar{x} = 10,7 mg. O ₂ /l.; 17 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 12,8 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) poco mineralizadas (\bar{x} = 1878 µmhos/cm.) — — — — — Aguas eutrofizadas muy mineralizadas (> 5000 µmhos/cm.)	Barbo (<i>Barbus sclateri</i>), a veces capas y carpines	Organización de las comunidades según un gradiente cabecera-desembocadura
11	Zona de la cuenca del río Mula	Aguas no contaminadas (\bar{x} = 12 mg. O ₂ /l.; 25 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 2,4 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) de mineralización media (\bar{x} = 620 µmhos/cm.) — — — — — Aguas contaminadas (4,8 mg. O ₂ /l.; 13 µg-atN-NO ₃ ⁻ /l.; 84 µg-atP-PO ₄ ³⁻ /l.) de mineralización media (\bar{x} = 2415 µmhos/cm.)	Barbo (<i>Barbus sclateri</i>) y gambusia (<i>Gambusia affinis</i>) En embalse: carpa y perca americana	Organización de las comunidades según su gradiente cabecera-desembocadura

moluscos, el resto manifiesta un ajuste más o menos completo con los distintos sectores ecológicos obtenidos. Los únicos desajustes que se aprecian suelen ser consecuencia de diferentes actividades provocadas por el hombre. Así, en la cartografía de la composición físico-química del agua (fig. 6a), los cursos de agua incluidos en los sectores 3, 4, 10 y 11, manifiestan un modelo más o menos complejo, en relación con las alteraciones drásticas y puntuales que provocan los vertidos sobre la composición físico-química del agua. De igual forma, la distribución de peces en la cuenca del río Segura (fig. 6b), presenta un desajuste en el tramo del río principal incluido en el sector 3, donde la alteración física del cauce (canalizaciones, destrucción del bosque de ribera, etc.) y de la calidad del agua queda reflejada en la escasa representación de esta taxocenosis. En el caso de las comunidades de microorganismos, algas y macrófitos (fig. 6c), tanto la actividad humana sobre los cauces como la composición química del agua afecta a su distribución espacial, de manera que cambios leves en el cuadro físico-químico de agua, como aumento de la salinidad, produce uno mucho más drástico en la composición específica de estas comunidades. Esto se observa, por ejemplo, en el tramo medio y bajo del río Quipar (sector 10), donde el grado de salinidad del agua aumenta con respecto al tramo de cabecera, y ello supone la sustitución de la comunidad típica de aguas limpias por otra completamente diferente en su composición específica y característica de ambientes salinos.

En el caso de los moluscos de las aguas continentales de la cuenca del río Segura, su modelo de distribución espacial (fig. 6d) es muy heterogéneo, pero, prácticamente en todos los sectores ecológicos se encuentran los cinco tipos de comunidades definidos. Esta situación viene provocada porque los moluscos responden a factores microambientales (Gómez, 1988); es decir, con tal que se den las características ecológicas, a pequeña escala, en un curso del agua, independientemente de su localización geográfica en la cuenca, aparecerán las especies correspondientes de éstos y otros organismos bentónicos (Suárez *et al.*, 1986). Así, la elección de un único sector ecológico como área para establecer un programa de muestreo y recoger la variedad ecológica de este grupo, habría sido suficiente y representativa de la cuenca del Segura, en su totalidad. Únicamente los sectores más alterados ambientalmente (sectores 3, 5 y 6) no serían apropiados para tal fin, pero, en definitiva, son reflejo de uno de los efectos más aparentes de la presión humana: «la homogeneización de los ecosistemas» (Vidal-Abarca, 1985).

Así, cada sector ecológico definido en la cuenca del río Segura, presenta una homogeneidad ambiental que se ajusta a aquellos componentes del medio físico-químico y a los modelos de distribución espacial de las comunidades de organismos acuáticos que responden a parámetros macroambientales, pero también recogen la suficiente heterogeneidad microambiental como para explicar, cada sector por sí solo, el modelo de distribución de un grupo

bentónico como, por ejemplo, los moluscos de las aguas continentales. Esta situación induce a pensar que muchos de estos sectores ecológicos (por ejemplo: 8, 9, 10 y 11) funcionan como «islas», en el sentido de que no participan en la dinámica global de la cuenca, lo que, evidentemente, contradice la concepción del río como un continuo (Vannote *et al.*, 1980). Los patrones de distribución de las comunidades biológicas en estos sectores ambientales «autónomos», parecen ajustarse más a los principios establecidos en la hipótesis de la perturbación media (Connell, 1978; aplicada a ríos por Ward y Stanford, 1983), dado que cada uno de ellos mantiene una heterogeneidad ambiental (a través de pequeños impactos o perturbaciones naturales como riadas, sequías, etc., y humanos como vertidos orgánicos discontinuos, pequeños embalses, complejo mosaico de usos del suelo de la subcuenca, alteraciones del bosque de ribera, etc., —Resh *et al.*, 1988—), capaz de reproducir, a menor escala, los diferentes tipos de comunidades biológicas que se establecen desde cabecera a desembocadura del río principal.

La validez del procedimiento empleado queda, pues, de manifiesto, pero incluso podría ser útil para otros fines. En primer lugar, una cartografía de sectores ecológicos proporciona la información base para diseñar un correcto programa de muestreo. Así, para caracterizar el cuadro físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca del río Segura, habría sido suficiente situar correctamente no más de 60 puntos de muestreo, en vez de los 349 prospectados (Vidal-Abarca, 1985). Además, proporciona un modelo de base para establecer umbrales de calidad del agua que se adecuen a los modelos regionales de tolerancia y resistencia a los impactos humanos. Normalmente, para el control de calidad del agua, se suelen emplear modelos matemáticos o niveles de calidad desarrollados y útiles fuera del área de estudio, lo que requiere un gran número de ajustes a las características de las cuencas donde se van a aplicar desvirtuando su valor (Omernik & Gallant,

(LIQUENES ACUATICOS: *Verrucaria aquatilis*; *V. margaceae*. BRIOFITOS: *Barbula ehrenbergii*; *Bryum pseudotriquetrum*; *Fissidens crassipes*; *F. grandifrons*; *Fontinalis hydroides*; *Rhynchostegium riparoides*. CIANOFICEAS: *Aphanothece saxicola*; *Oscillatoria bornettii*; *O. princeps*; *Nostoc verrucosum*. RODOFICEAS: *Batrachospermum moniliforme*; *Audouinella pygmaea*. DIATOMEA: *Cymbella caespitosa*. CLOROFICEAS: *Chaetophora incassata*; *Chlorotilium cataractarum*; *Draparnaldia glomerata*; *Microspora abbreviata*; *Ulothrix oscillarina*; *U. zonata*. CAROFITA: *Nitella tenuissima*). **Zona de aguas eutrofizadas** (DIATOMEA: *Cymbella tumida*. CAROFITAS: *Chara contraria*; *C. globularis*; *Nitella confervacea*). **Zona de aguas salinas** (CIANOFICEA: *Lynghya aestuarii*. XANTOFICEA: *Vaucheria dichotoma*. DIATOMEAS: *Melosira juergensii*; *M. moniliformis*. CLOROFICEAS: *Rhizoclonium hieroglyphicum*. CAROFITAS: *Chara aspera*; *C. canescens*. FANEROGAMA: *Ruppia drepanensis*). **Zona de aguas contaminadas** (CIANOFICEA: *Oscillatoria boryana*. XANTOFICEA: *Tribonema minus*. FANEROGAMA: *Lemna gibba*. BACTERIAS: *Beggiatoa albal*; *Sphaerotilus natans*). **Zona de estuario** (CIANOFICEAS: *Lynghya martensiana*. CLOROFICEA: *Rhizoclonium hieroglyphicum*. ALGAS TIPICAS MARINAS: *Dictyota dichotoma*; *Dictyopteris membranacea*; *Polysiphonia sp.*
d: Comunidades de moluscos de las aguas continentales.

1986). Además, y dado que cada sector ecológico constituye una unidad estructural, funcional, dinámica y de planificación, podrían extraerse o seleccionarse subsectores piloto para desarrollar estudios intensivos. Por ejemplo, balances de nutrientes o flujos energéticos cuyos resultados serían fácilmente extrapolables a todo el sector. Además, esto permitiría predecir, en algunos casos, los efectos sobre el sistema, de cualquier acción dentro de sus límites, como cambios en los usos del suelo, construcción de presas o canalizaciones en los cauces, ubicación de nuevos vertidos o evolución de los componentes bióticos o abióticos de los ríos una vez eliminados. Por último, conviene señalar la utilidad y ventajas de su aplicación a cuencas pequeñas, en extensión, pero muy heterogéneas ambientalmente, como es el caso de la cuenca del río Segura y, en general, de todas las cuencas mediterráneas, donde la distribución de las comunidades acuáticas muestra modelos espaciales y temporales a modo de «mosaicos» que pueden interpretarse como respuesta a la propia heterogeneidad ambiental de las cuencas fluviales.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados que se exponen en este estudio han sido financiados por el Proyecto de Investigación PCT88/30, concedido por la Dirección General de Educación y Universidad. Consejería de Cultura, Educación y Turismo. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

BIBLIOGRAFIA

- Aboal, M. (1987): *Flora algal epicontinental de la cuenca del río Segura. SE de España*. Tesis Doctoral. Univ. de Murcia, 284 págs.
- Azarbe (1984): *Estudio sobre los impactos de la sequía en el sector agrario de la cuenca hidrográfica del Segura. 1980-1983*. Murcia, CHS, MOPU, 508 págs.
- Banco Español de Crédito (1978-1983): *Anuario Banesto del Mercado Español*. Madrid.
- Bobee, B.; Lachance, M., y Potvin, L. (1981): «Analyse multivariate et spatiale de la qualité de l'eau des rivières du Québec meridional». *J. Hydrol.*, 53: 95-116.
- Brunce, R. G. H.; Morrell, S. K., y Stel, H. E. (1975): «The application of multivariate analysis to regional Survey». *J. Environ. Manag.*, 3: 151-165.
- Connell, J. H. (1978): «Diversity in tropical rainforests and coral reefs». *Science*, 199: 1302-1310.
- Cummins, K. W. (1974): «Structure and function of stream ecosystems». *Bio-Science*, 24: 631-641.
- Cushing, C. E.; McIntire, C. D.; Sedell, J. R.; Cummins, K. W.; Minshall, G. W.; Petersen, R. C., y Vannote, R. L. (1980): «Comparative study of physicochemical variables of streams using multivariate analysis». *Arch. Hydrobiol.*, 89 (3): 343-352.

- De Pablo, C. L., y Pineda, F. (1985): «Análisis multivariantes del territorio para una cartografía ecológica. Ensayo preliminar en la provincia de Madrid». *An. Geogr. Univ. Complutense*, 5: 236-260.
- De Pablo, C. L.; Gómez, A., y Pineda, F. (1987): «Elaboration automatique d'une cartographie écologique et son évaluation avec des paramètres de la théorie de l'information». *L'Espace Géographique*, 2: 115-128.
- Dirección General de la Producción Agraria (1985): *Mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia de Murcia*. Escala 1: 200.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Memoria, 80 págs.
- EPYPSA (1981): *Informe de reconocimiento territorial de la región de Murcia*. CEOTMA-Consejo Regional de Murcia, 423 págs.
- Escarre, A.; Lledó, M. J.; Bellot, J.; Martín, J.; Escaples, A.; Seva, E.; Rovira, A., y Sánchez, J. R. (1986): «Balances hídricos, meteorización y erosión en una pequeña cuenca de encinar mediterráneo (Proyecto LUCDEME)». *ICONA, Monograf.*, 47: 57-115.
- Gómez, R. (1988): *Los moluscos (Gastropoda & Bivalvia) de las aguas epicontinentales de la cuenca del río Segura (SE de España)*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Murcia, 223 págs.
- González Bernáldez, F. (1981): *Ecología y Paisaje*. Madrid, Ed. Blume, 250 págs.
- González Bernáldez, F. (1982): «Análisis ecosistémico de recursos naturales». *Opiniones CIFCA. Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 2: 5-33.
- Grupo de Trabajo Regional del Segura (1980): *Plan Hidrológico Nacional. Avance 80*. Madrid, Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica.
- Heise, P. (1984): «Denmark. Guderia», 25-50 págs., en Whitton, B. A. (ed.): *Ecology of European Rivers*. London, Blackwell Sc. Publ., 644 págs.
- Hirose, T., y Kuramoto, N. (1981): «Stream water quality as influenced by land use patterns in the Kakioka basin, Japan». *J. Environ. Qual.*, 10 (2): 184-188.
- Hughes, R. M., y Omernik, J. M. (1981): «A proposed approach to determine regional patterns in aquatic ecosystems», en Armantrout, N. B.: *Acquisition and utilization of aquatic habitat inventory information*. Oregón, Proc. Symp. Held., 1981, Portland, 92-102 págs.
- Hughes, R. M., y Omernik, J. M. (1983): «An alternative for characterizing stream size», 87-101 págs., en Fontaine, T. D.; Bartell, S. M. (eds.): *Dynamic of lotic ecosystems*. Michigan, Ann Arbor Sc, 494 págs.
- Hughes, R. M.; Rextad, E., y Bond, C. E. (1987): «The relationship of aquatic ecoregions, river basins and physiographic provinces to the ichthyogeographic regions of Oregon». *Copeia*, 2: 423-432.
- Hynes, H. B. N. (1975): «The stream and its valley». *Verh. Internat. Verein Limnol.*, 19: 1-15.
- IGME (1972): *Mapa Geológico de España. Escala 1: 200.000. Villacarrillo*. Ed. Publ. Inst. Geol. Miner. España.
- IGME (1973): *Mapa Geológico de España. Escala 1: 200.000. Elche*. Ed. Publ. Inst. Geol. Miner. España.

- Larsen, D. P.; Omernik, J. M.; Hughes, R. R.; Rohm, C. M.; Wittier, T. H.; Kinney, A. J.; Gallant, A. L., y Dudley, D. R. (1986): «Correspondence between spatial patterns in fish assemblages in Ohio streams and aquatic ecoregions» *Environ. Management.*, 10 (6): 815-828.
- Likens, G. E., y Bormman, F. H. (1974): «Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems». *Bioscience*, 24: 447-456.
- López Bermúdez, F. (1973): *La vega alta del Segura. Clima, hidrología y geomorfología*. Dep. Geografía Física. Univ. de Murcia, 288 págs.
- Llorca, A.; De Pablo, C. L., y Ruiz, M. (1988): «Caracterización ecológica del territorio: empleo de procedimientos multivariantes». *Congreso Europeo de Ordenación del Territorio*. Valencia, 28-30 junio.
- Margalef, R. (1983): *Limnología*. Barcelona, Omega, 1010 págs.
- Martin de Agar, P. (1984): *Ecología y planeamiento territorial: metodología y estudio de casos en la región murciana*. Secretariado de Publicaciones, Univ. de Murcia, 57 págs.
- Mas, J. (1986): «La ictiofauna continental de la cuenca del río Segura. Evolución histórica y estado actual». *Anales de Biología*, 8 (*Biología Ambiental*, 2): 3-17.
- Meyer, J. L.; McDowell, W. H.; Bott, T. L.; Elwood, J. W.; Ishizaki, C.; Melack, J. M.; Peckarky, B. L.; Peterson, B. J., y Rublee, P. A. (1988): «Elemental dynamics in streams». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7 (4): 410-432.
- Minshall, G. W. (1988): «Stream ecosystem theory: a global perspective». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7 (4): 263-288.
- Minshall, G. W.; Cummins, K. W.; Petersen, R. C.; Cushing, C. E.; Bruns, D. A.; Sedell, J. R., y Vannote, R. L. (1985): «Developments in stream ecosystem theory». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 1045-155.
- Montaner, M. E. (1980): «Vegetación de la región murciana», 92-110 págs., en *Historia de la región murciana*. Ed. Mediterráneo, tomo I.
- MOPU (1912-1983): *Aforos. 7.—Cuenca del Segura*. Madrid, Dirección General de Obras Hidráulicas.
- Morisawa, M. (1985): *Rivers. Form and Process*. K. M. Clayton. Logman, 222 págs.
- Naiman, R. J.; Decamps, H.; Pastor, J., y Johnston, C. A. (1988): «The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7 (4): 289-306.
- Omernik, J. M. (1987): «Ecoregions of the conterminous United States». *An. Asoc. Am. Geogr.*, 77 (1): 118-125.
- Omernik, J. M., y Gallant, A. L. (1986): *Ecoregions of the Pacific Northwest*. EPA/600/3-86/033, 39 págs.
- Ozenda, P. (1986): *La cartographie écologique et ses applications. Ecological mapping and its applications*. Paris, Masson, 160 págs.
- Pinter, I., y Backhaus, D. (1984): «Germany Neckar», 317-344 págs., en Whitton, B. A. (ed.): *Ecology of European Rivers*. Blackwell Sc. Publ. 644 págs.
- Ramos, A. (ed.) (1979): *Planificación física y ecología*. Madrid, EMESA.

- Resh, V. H.; Brown, A. V.; Covich, A. P.; Gurtz, M. E.; Li, H. W.; Minshall, G. W.; Reice, M. E.; Sheldon, A. L.; Wallace, J. B., y Wissmar, R. C. (1988): «The role of disturbance in stream ecology». *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 7 (4): 433-455.
- Rohm, C. M.; Giese, J. W., y Bennett, C. C. (1987): «Evaluation of an Aquatic Ecoregion classification of streams in Arkansas». *J. Freshw. Ecol.*, 4 (1): 127-140.
- Suárez, M. L.; Vidal-Abarca, M. R.; Soler, A. G., y Montes, C. (1986): «Composición y estructura de una comunidad de larvas de Odonatos (Zygoptera & Anisoptera) en un río del SE de España: cuenca del río Mula (río Segura)». *Anales de Biología*, 6 (*Biología Ambiental*, 2): 53-63.
- Triska, F. J.; Kennedy, V. C.; Avanzino, R. J., y Reilly, B. N. (1983): «Effect of simulated canopy cover on regulation of nitrate uptake and primary production by natural periphyton assemblages», 129-159 págs., en Fontaine, T. D.; Bartell, S. M. (eds.): *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann. Arbor Sc. 494 págs.
- Vannote, R. L.; Minshall, G. W.; Cummins, R. W.; Sedell, J. R., y Cushing, C. E. (1980): «The river continuum concept». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 130-137.
- Vannote, R. L., y Minshall, G. W. (1982): «Fluvial processes and local lithology controlling abundance, structure and composition of mussel beds». *Proc. Natl. Acad. Sc., USA*, 79: 4103-4107.
- Vidal-Abarca, M. R. (1985): Las aguas superficiales de la cuenca del río Segura (SE de España). Caracterización físico-química en relación al medio físico y humano. Tesis Doctoral. Univ. de Murcia, 789 págs.
- Vidal-Abarca, M. R.; Montes, C.; Ramirez-Díaz, L., y Suárez, L. (1987a): «El clima de la cuenca del río Segura (SE de España): Factores que lo controlan». *Anales de Biología*, 12 (Sec. Ambiental, 3): 11-28.
- Vidal-Abarca, M. R.; Montes, C.; Suárez, M. L., y Ramirez-Díaz, L. (1987b): «Caracterización morfométrica de la cuenca del río Segura: Estudio cuantitativo de las formas de las subcuencas». *Papeles de Geogr. Física*, 12: 19-31.
- Ward, J. V. (1985): «Thermal characteristic of running waters». *Hydrobiologia*, 125: 31-46.
- Ward, J. V., y Stanford, J. A. (1983): «The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems», 347-357 págs., en Fontaine, T. D., y Bartell, S. M. (eds.): *Dynamics of lotic ecosystems*. Michigan, Ann Arbor Sc. Publ., Ann Arbor.
- Warren, C. E. (1979): *Towards classification and rationale for watershed management and stream protection*. V. S. Environm. Protec. Agency Corvallis. O. R. EPA-600/3-79-059. Corvallis, 142 págs.
- Watt, R. E. F. (1978): «Las cuencas hidrográficas: un ejemplo de uso múltiple y demandas contradictorias», en *La ciencia del medio ambiente. Principios básicos*. Salvat Ed., 202-210 págs.
- Whittier, T. R.; Hughes, R. M., y Larsen, D. P. (en prensa): «The correspondence between ecoregions and spatial patterns in stream ecosystems in Oregon». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*

William, K.; Dixon, J. A., y Hufschmidt, M. M. (1986): *Watershed resources management. An integrated framework with studies from Asia and the Pacific*. Westview Press, 236 págs.

RESUMEN

Se desarrolla y experimenta un método de análisis geo-ecológico aplicado a cuencas de drenaje en el que sea posible integrar coherentemente todos los aspectos del medio físico y humano dotados de significado limnológico. El ámbito escogido para su experimentación ha sido la cuenca del río Segura, caracterizada por una notable heterogeneidad ambiental; dentro de ella, el método ha permitido registrar y evaluar gradientes y definir indicadores de gran importancia en la interpretación del marco físico-químico y biológico de las aguas continentales.

RESUME

On développe et expérimente une méthode d'analyse géo-écologique appliquée à des bassins de drainage où on puisse intégrer de manière cohérente tous les aspects du milieu physique et humain avec un signifié limnologique. Le cadre élu pour son expérimentation a été le bassin du fleuve Segura, caractérisé par une remarquable hétérogénéité ambientale: dans celui-ci, la méthode a permis d'enregistrer et d'évaluer des pentes et de définir des indicateurs d'une grande importance dans l'interprétation du cadre physicochimique et biologique des eaux continentales.

ABSTRACT

The paper develops and tests an geo-ecological analysis method applied to drainage basins. The analysis method tries to integrate limnology-related aspects of both physical and human environments. The method has been tested in the Segura river basin, which features an excellent environmental heterogeneity. The method makes possible to record and assess gradients and to define indicators which are relevant to explaining the physical-chemical and biological framework on continental waters.