Ecología y Conservación del Río Henares y sus Tributarios

Julio A. Camargo (editor)

54

PRÓLOGO

El éxito evolutivo de la especie humana ha estado en parte ligado a los ecosistemas acuáticos, donde nuestros ancestros podían obtener los recursos necesarios para cubrir las necesidades energéticas impuestas por el aumento de su biomasa y actividad encefálica. La explotación de estos sistemas ecológicos posibilitó después el desarrollo de grandes civilizaciones, originadas en muchos casos por asentamientos humanos en los valles fluviales. Sin embargo, el uso continuado de los ecosistemas acuáticos ha causado su degradación antropogénica, sobre todo a partir de la revolución industrial gestada durante el siglo XVIII. La eutrofización y contaminación de las aguas, la alteración de cauces y riberas, la modificación y regulación de caudales, y la introducción de especies exóticas son graves problemas ambientales que hoy día afectan a muchos ríos del planeta. Y, por desgracia, la cuenca del río Henares no ha quedado a salvo de tales problemas.

En los capítulos siguientes se exponen las características ecológicas del río Henares y sus tributarios, indicando las principales causas de degradación ambiental y proponiendo medidas correctoras para una mejor conservación de las comunidades biológicas. Aunque el nivel científico de cada capítulo es apreciable, en su redacción se ha intentado mantener un estilo didáctico y divulgativo que facilite la lectura y comprensión a las personas menos familiarizadas con el tema. Debo significar que este libro no habría sido posible sin la participación voluntaria y desinteresada de todos los autores. La ayuda concedida por el convenio de colaboración entre IberCaja (Obra Social y Cultural) y la Universidad de Alcalá ha sido decisiva para costear los gastos derivados de su edición.

Enfatizar, por último, que la conservación ecológica de la biodiversidad exige sin duda cambios en la distribución de la riqueza y en la explotación de los recursos que propicien situaciones menos asimétricas e insostenibles. Es necesario reconducir el principio vital de "maximizar el consumo sostenible de recursos", promoviendo la sostenibilidad más que el propio consumo en nuestro sistema globalizado.

Julio A. Camargo
Departamento de Ecología
Universidad de Alcalá

ÍNDICE

I. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA
Miguel Martín-Loeches, Eduardo Acaso, Mª Eugenia Moya y Luis F. Rebollo 1

II. CONTAMINACIÓN POR NITRATO DEL ACUÍFERO ALUVIAL
Juan J. Martínez-Bastida, Mercedes Arauzo y María Valladolid 23

III. LA VEGETACIÓN RIBEREÑA
Carmen Bartolomé, Julio Álvarez, F. Javier Rejos y Gustavo Díaz 35

IV. ORGANISMOS DESCOMPONEDORES Y FOTOSINTÉTICOS DEL MEDIO ACUÁTICO
Julio A. Camargo, Marcos de la Puente y Álvaro Alonso 65

V. EL HÁBITAT FLUVIAL: FACTORES AMBIENTALES Y HUMANIZACIÓN
Marcos de la Puente y Julio A. Camargo 81

VI. LOS MACROINVERTEBRADOS DEL BENTOS
Marcos de la Puente y Julio A. Camargo 109

VII. ALTERACIÓN DEL HÁBITAT FLUVIAL: EFECTOS SOBRE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS
Álvaro Alonso y Julio A. Camargo 137

VIII. RIESGO ECOTOXICOLÓGICO DE COMPUESTOS NITROGENADOS PARA LOS MACROINVERTEBRADOS
Álvaro Alonso y Julio A. Camargo 153

IX. VERTEBRADOS ECTOTERMOS DEL MEDIO ACUÁTICO Y LA RIBERA
Julio A. Camargo, Álvaro Alonso y Marcos de la Puente 167

X. LA AVIFAUNA DE LA VEGA
Salvador Rebollo, Juan Prieto y Luisa M. Díaz 185

XI. EL RÍO HENARES Y SU RIBERA COMO HÁBITAT PARA LOS MAMÍFEROS
Juan Herrero, Carlos Prada, Alicia García-Serrano y Julio A. Camargo 219

LOS AUTORES 231

I. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Miguel Martín-Loeches, Eduardo Acaso, Mª Eugenia Moya y Luís F. Rebollo

Departamento de Geología, Universidad de Alcalá

Introducción

El territorio abarcado por la cuenca hidrográfica del río Henares, de 4.136 km^2, es uno de los más interesantes y variados de los que componen toda la cuenca del río Tajo desde el punto de vista de su medio físico ya que abarca sustratos de tres unidades geológico-estructurales de primer orden, cada una de ellas de gran complejidad: Sistema Central, Cordillera Ibérica y "fosa del Tajo", también llamada Cuenca de Madrid, en este sector del centro de la península. Este hecho influye en las formas del paisaje y en las del propio río y sus tributarios, así como en su régimen de caudales y su comportamiento hidráulico. No se presentan en este capítulo por razones de espacio todos los aspectos relativos al medio físico de la cuenca hidrográfica, describiendo únicamente las características geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de mayor interés a los objetivos del libro. Estas descripciones se estructuran separando la cuenca alta (Paleozoico y Mesozoico, en términos generales) de las cuencas media y baja (Terciario y Cuaternario) para hacer más cómoda su lectura y buscando un orden geográfico y también geológico.

Para situar la cuenca hidrográfica del río Henares en el contexto regional de los tres dominios mencionados, se muestra en Figura 1 un mapa geológico de síntesis. La diversidad en la naturaleza y estructura de los sustratos en él reflejada explica la gran variabilidad paisajística de esta parte del Tajo Oriental. La cuenca alta posee relieves propios de las alineaciones montañosas que lo configuran. A la litología y la estructura de los materiales que afloran en la zona, se suma la herencia morfológica de estas regiones. Se puede hablar por tanto, de modelados característicos del Sistema Central y de otros propios del Sistema Ibérico. La tercera gran unidad de relieve se localiza en las cuencas media y baja que corresponde a la fosa del Tajo por donde discurre el Henares.

Siguiendo al maestro D. Eduardo Hernández-Pacheco (1872-1965), la cuenca del río Henares desde el punto de vista litológico, pero con consecuencias morfológicas, viene a sintetizar las tres "Españas" que él definiera. Así, la España "silícea" está representada por las sierras paleozoicas (esquistos, pizarras, cuarcitas, etc) localizadas preferentemente en la cuenca del río Sorbe y que constituyen el sector de la cabecera con "carácter" de Sistema Central. Son, fundamentalmente el macizo de Ayllón y sus

estribaciones meridionales. La España "calcárea" se define también en la cuenca alta pero perteneciente a la rama Castellana de Cadena Ibérica. Aflora en estas regiones el Mesozoico representado por materiales carbonatados pero también terrígenos y otros. Por último, la España "arcillosa" queda representada por la región que atraviesa el Henares en sus cuencas media y baja, que no es otra que la depresión del Tajo llena a rebosar de materiales terrígenos, pero también margosos, calcáreos y yesíferos.

El río Henares nace en Sierra Ministra, cerca de Horna (Guadalajara) a 1.220 m de altitud, y desemboca en el río Jarama, en los alrededores de Mejorada del Campo a 550 m, después de recorrer unos 180 km. El cauce del Henares recibe, por su margen derecha, las aguas de los ríos Torote, Camarmilla, Sorbe, Aliende, Bornova, Cañamares y Salado. De ellos el más importante por caudal es sin duda el río Sorbe, que se une al río Henares en Humanes de Mohernando. Por su margen izquierda recibe las aguas de los ríos Dulce y Badiel.

Los recursos hídricos del río Henares, en fase superficial y subterránea, representan apenas el 4,2 % del total de la cuenca española del Tajo, teniendo su cuenca hidrográfica una aportación media anual en régimen natural de 513 hm^3. La variabilidad de las aportaciones de los afluentes del Tajo es muy notable y el río Henares no es una excepción; de la serie comprendida entre los años hidrológicos 1940-41 y 1992-93, la aportación anual máxima, correspondiente al año hidrológico 1940-41 con 1.465 hm^3, es 14 veces superior a la mínima registrada en el año 1948-49 con 104 hm^3.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales que afloran en la cuenca poseen un diferente comportamiento frente al agua subterránea; algunos son prácticamente impermeables, en tanto que otros constituyen muy buenos acuíferos, gracias a los cuales se produce una buena regulación del caudal del río, además de la generada por los embalses.

En Figura 2 se muestran las características hidrológicas generales de la cuenca del río Henares, con indicación de las principales Unidades Hidrogeológicas que descargan parcialmente en ella, la localización de las estaciones de aforo y algunas indicaciones de interés (isoyetas medias y flujo preferente en los acuíferos más extensos). A esta figura se hará referencia en los apartados que corresponda.

Cuenca Alta: Geología y Geomorfología

De los 4.136 km^2 de superficie de la cuenca hidrográfica del río Henares, aproximadamente 1.800 km^2 (poco más del 40 %) se extienden entre los materiales plegados y fracturados del Paleozoico del Sistema Central (820 km^2) y del Mesozoico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (980 km^2), en lo que constituyen los tramos altos del propio Henares y de sus principales afluentes a excepción del río Badiel. Esta es la región en donde se encuentran los relieves más importantes. El resto, algo más de 2.300 km^2, se extiende sobre materiales terciarios y cuaternarios, dispuestos en estratos más o menos horizontales, con relieves más suaves.

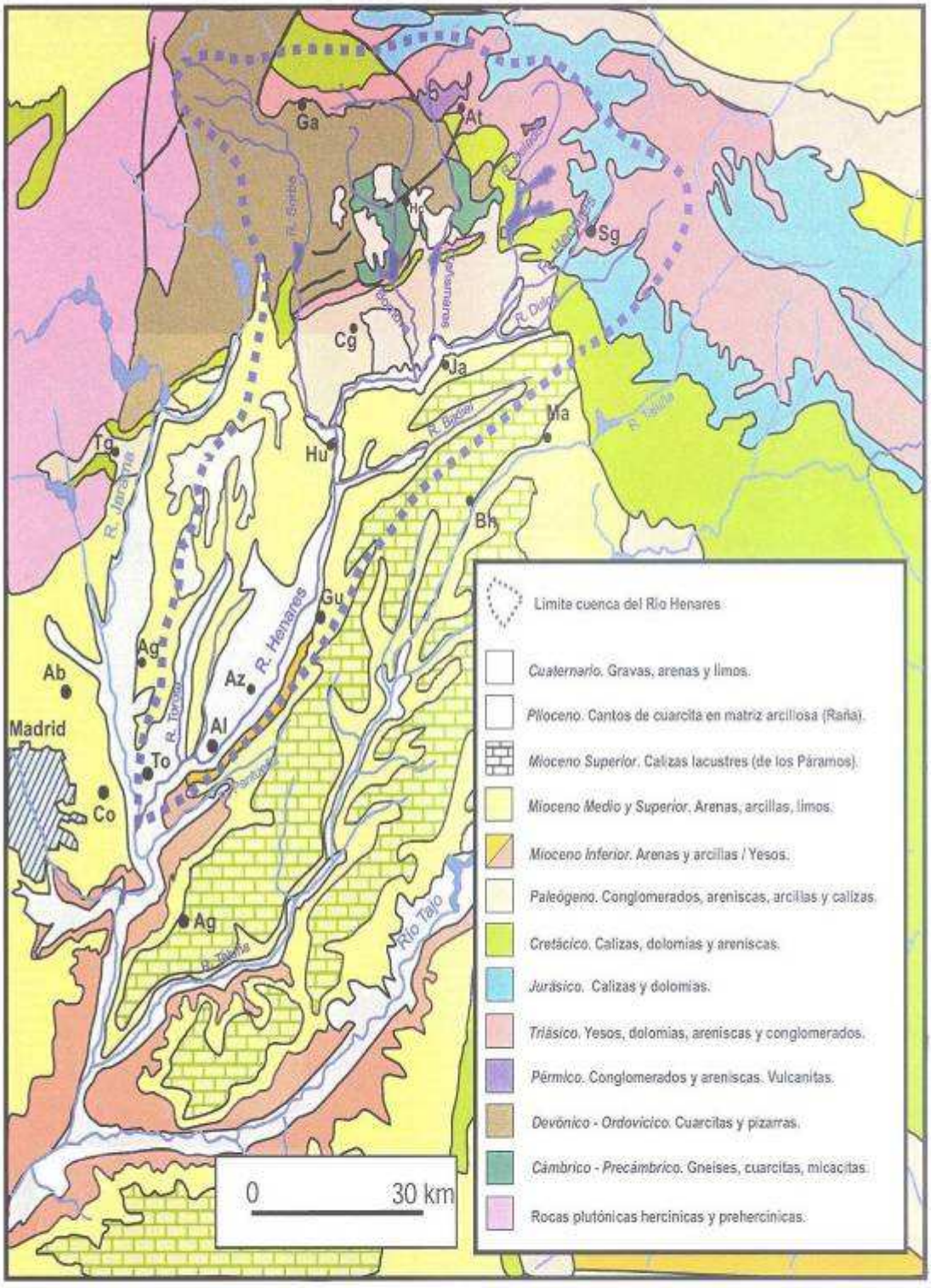

Figura 1. *Mapa geológico simplificado de la cuenca del río Henares y su entorno. Al: Alcalá de Henares; Ab: Alcobendas; Alg: Algete; Arg: Arganda; At: Atienza; Bh: Brihuega; Az: Azuqueca; Cg: Cogolludo; Co: Coslada; Ga: Galve; Gu: Guadalajara; Ja: Jadraque; Sg: Sigüenza; To: Torrejón de Ardoz.*

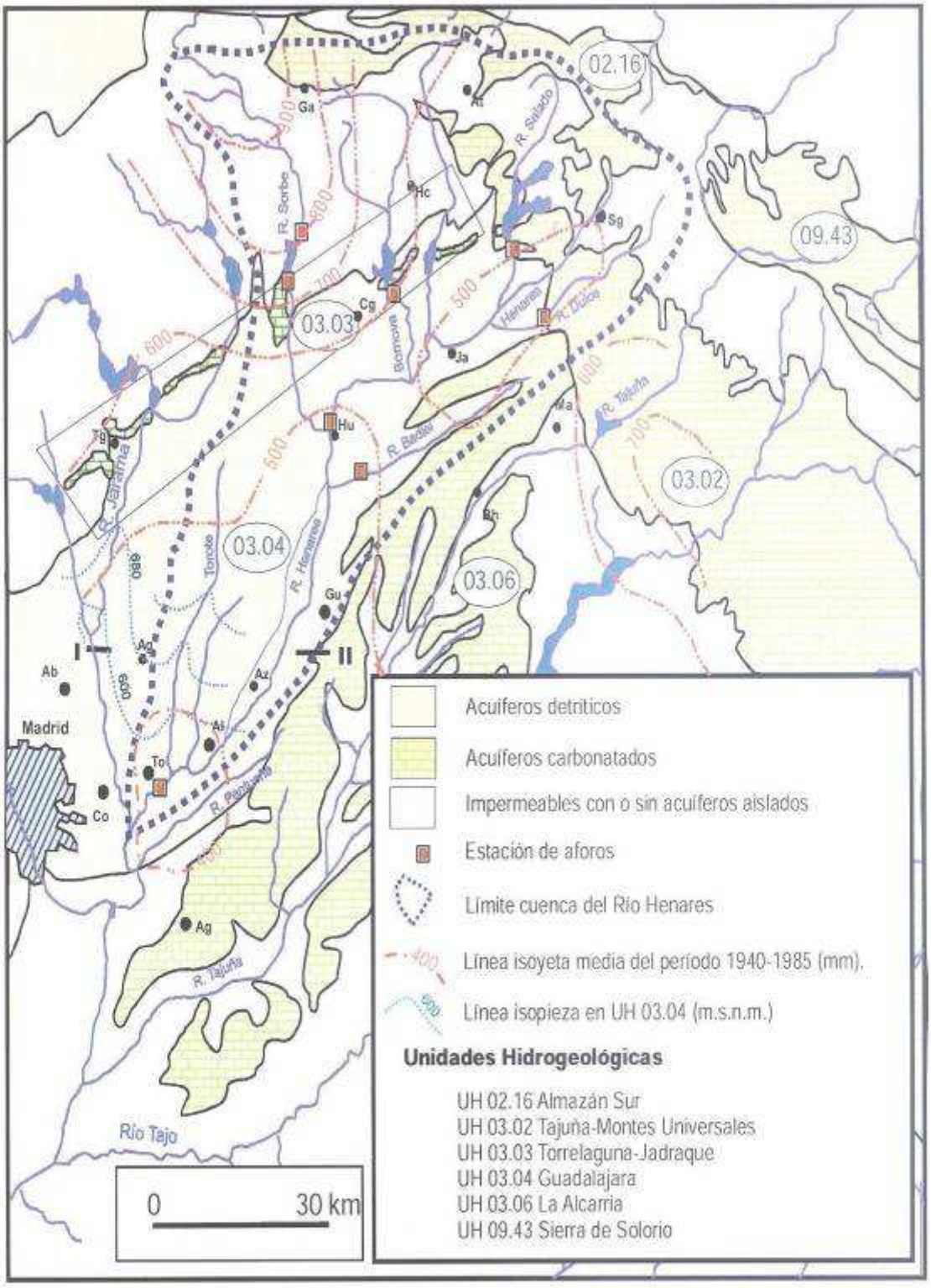

Figura 2. *Mapa hidrogeológico simplificado de la cuenca del río Henares y su entorno. Al: Alcalá de Henares; Ab: Alcobendas; Alg: Algete; Arg: Arganda; At: Atienza; Bh: Brihuega; Az: Azuqueca; Cg: Cogolludo; Co: Coslada; Ga: Galve; Gu: Guadalajara; Ja: Jadraque; Sg: Sigüenza; To: Torrejón de Ardoz.*

En la región del Sistema Central que se localiza al este de la falla de Berzosa-Riaza (cuya prolongación hacia el sur coincide con el valle del Jarama), predominan las rocas metamórficas de bajo grado, esquistos, pizarras y cuarcitas. Este es el sustrato paleozoico que corresponde a la cuenca del Henares, aunque es el río Sorbe el único de sus afluentes que durante la mayor parte de su recorrido trascurre por este tipo de rocas.

Por otro lado los materiales del Sistema Ibérico, dentro de su antigüedad, son mucho más modernos y de naturaleza sedimentaria. Están representados el Triásico, en facies germánica (Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper), el Jurásico (aunque falta su tramo medio, el Dogger) y en menor medida el Cretácico (ver Figura 1); del periodo Pérmico, que se corresponde con las últimas fases de actividad del orógeno Hercínico y con el comienzo de la fragmentación de ese supercontinente llamado Pangea, afloran rocas volcánicas en la región de Atienza, testigos de una importante actividad extensiva de la corteza en aquella época (Foto 1).

De los comienzos del Triásico nos quedan conglomerados de matriz rojiza depositados en cuencas continentales (facies Bundsanstein) y en un medio fluvial. Posteriormente esta región es invadida desde el Sureste actual por el mar del Tethys (precursor del actual Mediterráneo) y en sus avances y retrocesos a lo largo del resto del Triásico y también, sobre todo, durante el Jurásico y el Cretácico, deposita calizas (de zonas de plataforma marina) o materiales más terrígenos y evaporíticos propios de las marismas costeras, como las características arcillas versicolores con yesos y otras sales del Keuper, presentes en las zonas bajas de muchos valles (el agua que lava este sustrato produce la sal en las Salinas de Imón – ver Foto 2 –, de Gormellón y de la Olmeda, entre otras, en el valle del río Salado) . La superficie de afloramiento de estas unidades en la cuenca hidrográfica del Henares es muy parecida, aunque destacan las calizas del Jurásico, con 317 km^2 y las facies Keuper con 240 km^2.

Tanto los materiales del Paleozoico como los del Mesozoico de esta región (si exceptuamos los granitoides y las rocas volcánicas), fueron sobre todo depositados horizontalmente en cuencas (en su sentido geológico) cuya morfología original es difícil imaginar. Así, las pizarras fueron bancos de arcillas y limos, y las cuarcitas, de arenas de cuarzo. Estos materiales han sufrido primero dos grandes orogenias, Caledónica y Hercínica, y en posiciones intermedias de la corteza superior, que por la temperatura y la presión se transformaron en lo que ahora vemos, materiales duros, plegados y fracturados. Además sufrieron después, una tercera y última orogenia, Alpina, que los elevaron, por reactivación de grandes fracturas de ámbito cortical, de dirección NE-SO y otras, creadas durante el orógeno hercínico. El mar del Tethys, y por tanto también sus depósitos, que constituyen el cortejo de rocas sedimentarias del Sistema Ibérico, estaba cubriendo al final del Cretácico, parte del Sistema Central (aproximadamente hasta el paralelo de Valdemorillo, en Madrid) antes de que éste se elevara. El levantamiento provoca la retirada definitiva del mar, la erosión de sus depósitos en la vertical del Sistema Central y la exhumación en superficie del sustrato más antiguo. Por eso podemos ver los materiales mesozoicos aflorando en muchas zonas del borde meridional de Sierra Norte. Esta última orogenia pliega y fractura los depósitos mesozoicos, más extensos y de mayor espesor hacia el Mediterráneo, hasta configurarse como Cordillera Ibérica.

Los relieves y paisajes que se forman en ambos sistemas montañosos dependen de la naturaleza de las rocas, de los contrastes de dureza entre ellas, de sus estructuras (pliegues, fallas, estratificación o cualquier otro tipo de discontinuidad), del régimen climático, y de la herencia morfológica que arrastra cada región. En el dominio de las rocas del Paleozoico se encuentran las sierras del Alto Rey (pico del Alto Rey: 1.852 m), de Ayllón (La Buitrera: 2.046 m) y del Ocejón (pico Ocejón: 2.048 m), definidas por bloques limitados por fracturas que suelen dirigir la red hidrográfica. Dentro de estas sierras, el relieve dominante es típico del Sistema Central. En efecto, las alineaciones montañosas quedan coronadas por antiguas superficies de erosión finimiocenas y pliocenas muy mermadas por la incisión torrencial que, en estas sierras, alcanzan gran desarrollo provocando fuertes contrastes altimétricos. Este hecho se deriva de la presencia dominante de pizarras y esquistos, rocas muy propicias a la erosión frente a los afloramientos de cuarcita, de gran resistencia.

Como en las vecinas Somosierra y aún Guadarrama, existen en Ayllón y sierras aledañas, retazos de otras superficies, bien culminantes (como la superficie de paramera), bien de piedemonte. En otras ocasiones, superficies muy antiguas quedan exhumadas por el encajamiento de la red. Es el caso de la superficie pretriásica exhumada en la cabecera del río Sorbe, en las proximidades de la localidad de Galve de Sorbe. Decíamos que la cuenca paleozoica del Sorbe se resuelve en antiguas superficies de erosión conformando las cumbres y erosionadas por la acción torrencial que protagoniza el modelado de las vertientes, pero también hay que citar otros tipos de modelado aunque no tienen la presencia de aquellos: se trata del generado por la acción periglaciar (y aún glaciar, pero de muy escasa entidad) que remodela las más altas cotas de los macizos.

De cualquier modo, el relieve es modelado en función, como ya se ha dicho, del contraste de resistencia a la erosión de los cuerpos de rocas y de su disposición relativa; es así como los bancos de cuarcitas, resistiendo mejor la erosión que el resto de las rocas metamórficas de bajo grado que dominan en la región, generan resaltes morfológicos muy característicos. Buen ejemplo de lo dicho son los resaltes de la Sierra del Alto Rey (Foto 3) o la cascada (generada por la presencia de un potente banco de cuarcita) conocida como el salto de Despeñalagua, en las faldas del Pico Ocejón (Foto 4). Al ser las rocas más abundantes de color oscuro, desde el negro característico de las pizarras al gris parduzco de los esquistos, las construcciones tradicionales de los pueblos de estas sierras (Valverde de los Arroyos, La Huerce, Valdepinillos, Umbralejo, etc.) conforman la denominada "arquitectura negra" de la región.

En el dominio de Cordillera Ibérica hay mayor variedad de relieves, hecho que se deriva de una mayor diversidad litológica y anisotropía de los materiales. Como en la cabecera paleozoica, la rama castellana del Sistema Ibérico se configura en amplias planicies que, al igual que en Ayllón, corresponden a antiguas superficies de erosión. Esto es manifiesto en Sierra Ministra o en la de Pela, o en los Altos de Barahona. La incisión fluvial atacó primero estas superficies (cuyos retazos quedan en múltiples lugares pero siempre en posiciones culminantes), encajándose luego la red progresivamente dejando al descubierto litologías y estructuras variadas.

Foto 1. *Afloramiento de rocas volcánicas (andesitas) en las proximidades de Atienza (foto Miguel Martín-Loeches).*

Foto 2. *Las salinas de Imón vistas desde Carabias (foto Luis Monje).*

Foto 3. *Sierra del Alto Rey (1.852 m), con resaltes morfológicos de las rocas cuarcíticas, más competentes que las pizarras y los esquistos (foto Luis Monje).*

Foto 4. *Chorrera de Despeñalagua en las proximidades de Valverde de Los Arroyos, al pie del pico Ocejón (2.048 m) (foto Luis Monje).*

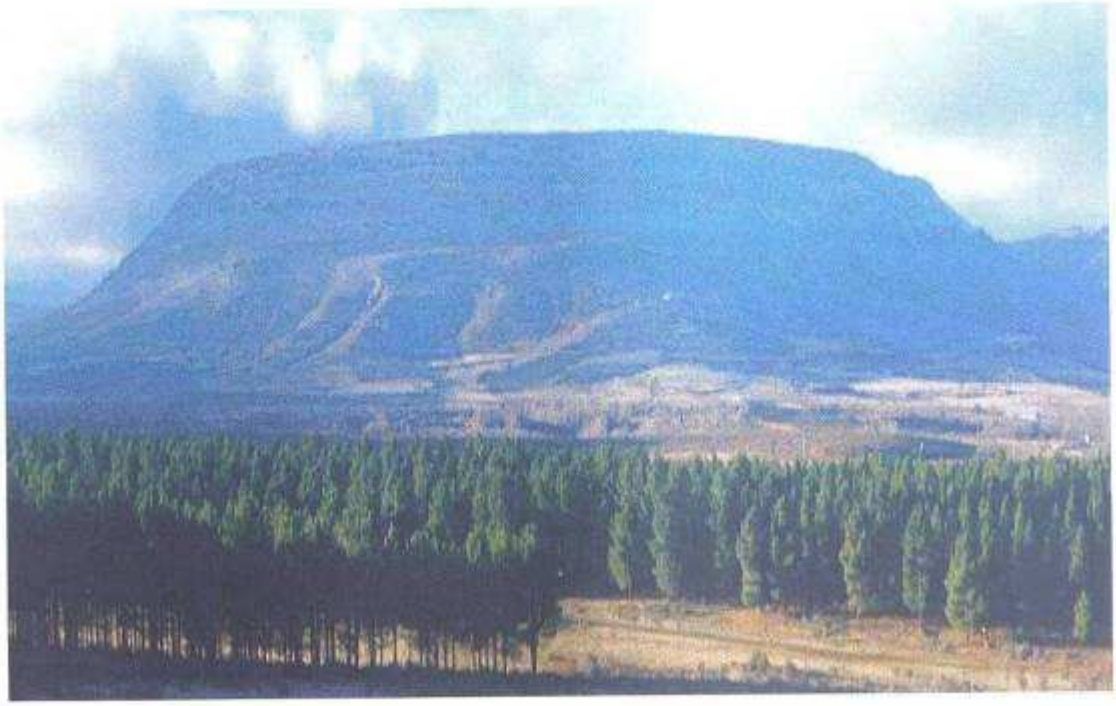

Foto 5. *Característica "muela" en las calizas del Cretácico de los alrededores de Galve de Sorbe (foto Miguel Martín-Loeches).*

Así, en la Sierra de Pela (Ribalópez: 1.521 m; Portillo: 1.538 m) abundan las muelas (Foto 5), como también en los altos de Santamera (Muela de Santamera: 1.173 m; El Mojonazo: 1.108 m; Muela de la Almendra: 1.136 m). Estos cerros, típicos del sector montañoso ibérico de Guadalajara, se localizan allí donde aflora el Cretácico superior dolomítico en posición horizontal o subhorizontal generando cerros aislados de formas troncocónicas o "mesas". Presentan cumbre plana (por la horizontalidad de los materiales pero también por el arrasamiento que producen las superficies de erosión culminantes) y vertientes abruptas con morfologías de glacis o en graderío por el afloramiento de bancos de calizas y margas del Turoniense (Cretácico superior). Por otra parte, los materiales triásicos afloran en facies germánica. Así, los conglomerados y areniscas rojas del Buntsandstein conforman extensos paisajes ruiniformes con formas tales como tormos o torreones, como en el conocido núcleo del anticlinal de Sigüenza.

En las Sierras de Atienza, en los Altos de Barahona y en Sierra Ministra (Ministra: 1.310 m) dominan los afloramientos del Triásico y el Jurásico. El sustrato se encuentra suavemente plegado, generándose valles donde afloran los materiales del Keuper. El relieve entonces se resuelve en amplias vallonadas de escaso contraste altimétrico interrumpidas por oteros normalmente formados por afloramientos carbonatados de edad jurásica como el cerro del castillo de Riba de Santiuste, en la cuenca del río Salado, localidad bien conocida entre los geólogos por constituir un punto singular de carácter estratigráfico. Esta morfología de tendencia a la planitud se debe, en gran parte, a los afloramientos de margas y yesos del Triásico superior en facies Keuper. Todos estos materiales presentan una elevada plasticidad y una escasa resistencia a la erosión que se traduce en un relieve muy homogéneo, suavemente alomado. En ocasiones, la disolución local de estos yesos a favor de alineaciones estructurales ha provocado la formación de dolinas como la que se generó en los años 80 del siglo pasado, de varias decenas de metros de diámetro, en la localidad de Paredes de Sigüenza. Otras veces, la alta salinidad de estos materiales es la causante del elevado contenido en sales disueltas que presentan las aguas de escorrentía. Pero este relieve suave y con tendencia a la planitud se interrumpe bruscamente cuando afloran los materiales jurásicos y cretácicos (y aún paleógenos) en posiciones anómalas allí donde la tectónica fue especialmente activa originándose fuertes inclinaciones de los estratos y paisajes muy peculiares. Son las llamadas hoces, que no son más que profundas entalladuras labradas en estos materiales. Son muchas las hoces presentes en la cuenca del Henares, baste como ejemplo la de Santamera. Destaca por la espectacularidad de su paisaje la hoz del río Dulce (aguas arriba y aguas abajo de la población de Pelegrina) labrada por el río en materiales jurásicos y cretácicos aunque también con un claro origen cárstico (Foto 6).

Cuenca Alta: Hidrogeología

Los materiales metamórficos del Paleozoico y los precámbricos son prácticamente impermeables. En ellos se pueden desarrollar zonas de alteración de escasa entidad que pueden drenarse a través de pequeños manantiales de régimen marcadamente estacional, con aguas muy poco mineralizadas y de carácter bicarbonatado sódico y/o cálcico.

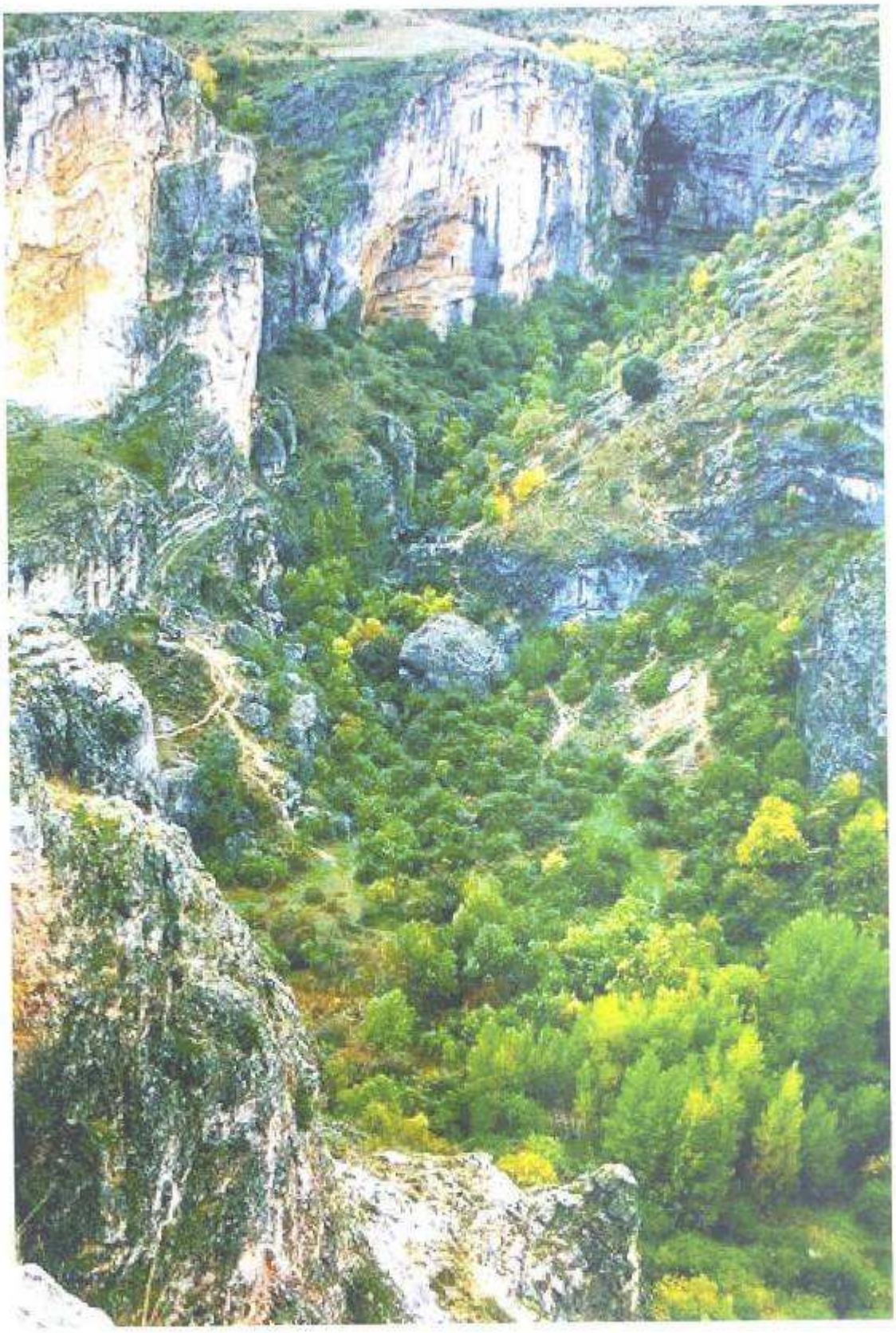

Foto 6. *Hoz del Río Dulce a su paso por Pelegrina (foto Luis Monje).*

Ocurre, sin embargo, que se extienden por la zona más elevada de la cuenca hidrográfica, con influencia atlántica y por tanto la que recibe mayores precipitaciones; en la cabecera del río Sorbe se miden 900 mm de precipitación media anual frente a los 500-600 mm de Sierra Ministra y los Altos de Barahona, en el dominio de la Cordillera Ibérica (en la zona de la desembocadura del Henares en el Jarama se registran 400 mm de precipitación media). Además una parte importante de las precipitaciones recibidas en este sector lo son en forma de nieve, garantizando la presencia de caudales apreciables en los ríos durante tiempos prolongados.

La cobertera mesozoica, sin embargo, posee en algunos de sus tramos importantes acuíferos. En la cuenca del río Henares se encuentran parte de tres Sistemas acuíferos en el sustrato sedimentario de la Cordillera Ibérica y en el reborde norte del Sistema Central que descargan en parte hacia este río.

Según la nomenclatura de SGOP (1991), esas partes serían la unidad hidrogeológica (UH) 03-03 (Torrelaguna-Jadraque) y la 03-02 (Tajuña-Montes Universales), ambas de la cuenca del Tajo, y las subunidades 09-43 (Sierra del Solorio) de la cuenca del Ebro y la 02-16 (Almazán Sur) de la cuenca del Duero; en Figura 2 se muestra su posición aproximada. La descarga de estos sistemas, a través de manantiales, produce el nacimiento y la alimentación subterránea de los primeros kilómetros de los ríos Henares, Bornova, Salado y Dulce.

Entre todas las formaciones geológicas que componen el conjunto mesozoico de estas unidades las más importantes desde el punto de vista del agua son las correspondientes al Jurásico inferior y al Cretácico carbonatado. Las restantes unidades aportan escasos recursos hídricos a escala regional, aunque pueden tener importancia a nivel local. En conjunto estos sistemas pueden asimilarse a una serie de acuíferos libres, desconectados entre si, que pueden pasar a tener un carácter confinado hacia el centro de la cuenca terciaria de Madrid.

La recarga en ellos se produce a partir de la infiltración del agua de lluvia, y la descarga a través de los manantiales o surgencias que bordean los distintos afloramientos, bien puntualmente (Foto 7), bien diseminados en los ríos. El IGME (1984) calcula que en los materiales de estos sistemas que se encuentran en las cuencas del Dulce y del Henares, se infiltran anualmente del orden de 75 hm^3, y en las cuencas del Salado y del Bornova unos 35 hm^3 anuales.

Estos materiales, al ser permeables (por karstificación), constituyen unos auténticos reguladores naturales de los caudales de los ríos, ya que retardan y ponderan la escorrentía. Las aguas de estos sistemas mesozoicos son de dureza media a muy alta, de mineralización notable o ligera y todas ellas son bicarbonatadas cálcicas. El contenido en sales disueltas que presenta varía entre 200 y 600 mg/L, con algunas excepciones. Por otro lado, los materiales del Paleógeno carecen de importancia hidrogeológica a escala regional, aunque localmente pueden satisfacer pequeñas demandas hídricas.

Cuencas Media y Baja: Geología y Geomorfología

La cuenca terciaria del río Henares pertenece a la llamada cuenca de Madrid (o fosa del Tajo); constituye ésta una amplia depresión tectónica de unos 15.000 km^2 que se forma al elevarse los sistemas montañosos del centro de la península (Sistema Central, Montes de Toledo, Cordillera Ibérica), proceso que comienza a finales del Cretácico (hace unos 65 millones de años); su parte más oriental puede visualizarse en Figura 1. Esta cuenca es rellenada por los materiales que se erosionan de las sierras, a lo largo del Terciario. No es una cuenca regular; sus bordes han funcionado de forma desigual a lo largo del Terciario y el relleno se ve condicionado por reactivaciones del basamento.

Gracias a estudios geofísicos y a sondeos profundos (Tielmes, El Pradillo) sabemos que el basamento de la cuenca presenta una notable asimetría según dirección NO-SE y por tanto hay una distribución diferenciada de espesores del relleno, que varían de casi 4.000 metros en el sector próximo al Sistema Central al Norte de Madrid hasta una media de 1.500-2.000 m en los sectores central y oriental de la cuenca. El espesor del relleno terciario en los alrededores de Alcalá de Henares es superior a los 1.500 metros: un sondeo de 1.000 m efectuado en el casco urbano de Alcalá por el IGME, en 1927, no llegó a tocar el basamento cristalino. No obstante, en el corredor (Alcalá, Guadalajara, Humanes, Cogolludo) parece definirse un pasillo tectónico en el que dos bloques elevados del basamento, con la dirección aproximada del río Henares, reducen el espesor del sedimento a los 500-600 m. Hacia el Norte de este pasillo geológico, el espesor es menor de 600 m y hacia el Sureste es mayor de 2.000 m (bloques hundidos de Brihuega y Tendilla).

Hoy se admite que los materiales que rellenan la cuenca (especialmente los neógenos) se depositan bajo un medio del tipo abanico aluvial-lacustre. Durante el proceso de relleno, que duró todo el Terciario, la depresión no tenía salida al mar, pues era una cuenca endorreica, y los abanicos aluviales que llegaban a ella desde los bordes van depositando los materiales que arrastran según el agua pierde energía hacia el interior, donde la pendiente es menor. El proceso, idealizado, se ilustra en Figura 3; en ella se aprecia cómo el relleno de la cuenca, al pie de las sierras, se realiza con un sedimento grosero y mal clasificado, que va disminuyendo el tamaño de sus partículas hacia el interior, en donde pasa insensiblemente a ser más fino o de transición y finalmente a los depósitos propios de lagunas o agua estancada. En la cuenca de Madrid, por tanto, al borde de las sierras dominan las facies detríticas, en el centro de la cuenca, las facies químicas, con yesos y, en menor medida, calizas, y entre medias las facies de transición constituidas por arcillas, limos y margas. La cuenca terciaria del Henares se extiende sobre todo por la facies detrítica de los rellenos terciarios.

El hecho de que los ríos más importantes de la cuenca del Tajo, como el Henares, se encuentren circulando sobre la facies detrítica del borde norte de la cuenca se debe a que estos materiales constituyen un extenso acuífero, que descarga fundamentalmente en estos cauces, no así la facies de transición y mucho menos la química de carácter evaporítico del centro de cuenca, prácticamente impermeable.

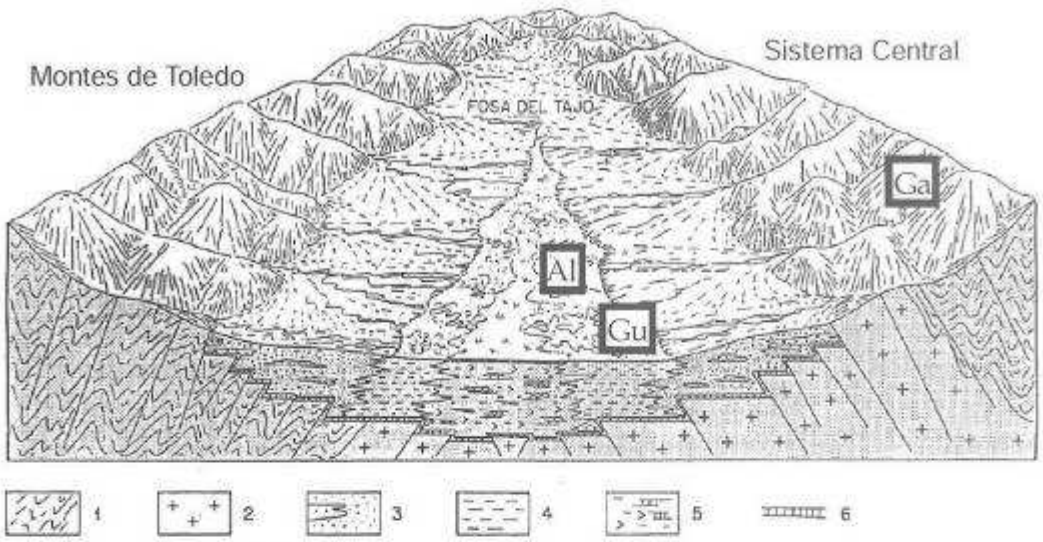

Figura 3. *Reconstrucción idealizada de los abanicos aluviales que rellenaron la fosa del Tajo durante el Mioceno y ubicación aproximada de Alcalá de Henares (Al), Guadalajara (Gu), y Galve de Sorbe (Ga). 1: rocas metamórficas; 2: Granitos; 3: bloques, gravas y arenas; 4: arenas finas, limos y arcillas; 5: margas, yesos y calizas; 6: arenas, calizas y dolomías del Cretácico. (Modificado de Pedraza, 1996).*

La sedimentación de los materiales de estos abanicos se encuentra condicionada por los movimientos tectónicos de los bordes y del basamento de la cuenca y por el clima, que es muy árido al principio del Mioceno y va haciéndose cada vez más húmedo hasta el Pleistoceno Superior, época para la que se admite la existencia de un régimen climático semejante al actual. Los abanicos arrastran un material u otro en función de la naturaleza del roquedo original. Así, en el caso del Henares, el relleno detrítico terciario es variado en colores (naranjas, marrones) ya que en los bordes existe una notable diversidad litológica. Sin embargo, en la zona de Madrid dominan los rellenos con arcosas amarillentas procedentes del desmantelamiento de los granitoides de la sierra.

Ya en el Mioceno Superior, con la cuenca casi colmatada, penetra hacia su interior un sistema fluvial importante (ya no abanicos aluviales) que deja un nivel de espesor variable de material detrítico (la red fluvial intramiocena de Capote y Carro, 1968), con "cantos rodados", limos, arenas y arcillas (puede verse en el cerro del Ecce Homo). Estos sistemas fluviales, que para algunos autores marcan el comienzo del exorreismo de la cuenca, evolucionan lateral y verticalmente en lagos donde se depositan las llamadas calizas del Páramo, que presentan hasta 30 metros de espesor.

Una vez colmatada la cuenca, en el Plioceno Superior (hace unos 2 millones de años) y como consecuencia de impulsos tectónicos en las sierras, se depositan las llamadas "rañas" que son depósitos de poco espesor de llanuras fluviales de piedemonte generados en un clima contrastado con estaciones seca y húmeda. Como estos rellenos no han sufrido movimientos tectónicos importantes (aunque en los bordes, sí), hoy los vemos formando estratos más o menos horizontales. Los bloques del basamento, sin embargo, se han movido irregularmente a lo largo del Terciario.

Foto 7. *Nacimiento del río Henares antes de que fuera "enjaulado" (ver Foto 8 en Capítulo IV). La descarga de agua subterránea de las calizas del Jurásico (derecha en la foto), por el contacto con las arcillas impermeables del Keuper (al fondo), parece ser la causa del surgimiento (foto Miguel Martín-Loeches).*

Foto 8. *Laguna Grande de Beleña (en verano) donde puede apreciarse la extensa superficie de la raña (foto Miguel Martín-Loeches).*

Si los materiales miocenos y pliocenos representan el relleno de la cuenca colmatando a ésta, el Cuaternario y su red fluvial marcan el inicio de su vaciado. Así pues, en el Cuaternario comienza la instalación de la red fluvial actual que, hasta el día de hoy, es el factor más importante del modelado del paisaje. En este sentido, la raña, de edad Plio-cuaternaria, puede considerarse como la primera terraza (la más antigua) de los ríos Jarama y Henares.

El río Henares y su cuenca, nace por tanto hace unos 1,8 millones de años individualizándose como tal a partir del sistema Jarama-Sorbe-Henares que parece definir (más bien no definir) el depósito de la raña. Desde entonces, su dinámica (crecidas, estiajes, periodos de mayor erosión, otros de mayor poder de transporte, derivados en ambos casos de cambios climáticos pero sobre todo de impulsos tectónicos en las sierras) es la responsable de que sus depósitos de llanura aluvial sean excavados por el cauce y abandonados en cotas superiores formando lo que conocemos por terrazas aluviales, generalmente cuerpos sedimentarios muy extensos y de 5-6 metros de espesor de gravas, arenas, arcillas y limos.

Todo ello es posible porque el régimen endorreico imperante en la fosa se vuelve exorreico en el Plioceno Superior al sufrir la meseta un basculamiento de carácter regional hacia el Sursuroeste. Este hecho, junto a una tendencia climática hacia una mayor humedad, favorece y determina la creación y desarrollo de redes de escorrentía permanentes.

El río Henares, al inicio del Cuaternario, no se encontraba en la posición que actualmente ocupa sino mucho más al Norte, cercano al Sistema Central, y progresivamente va derivando hacia el Sureste, dejando un rastro de terrazas a medida que se encaja. La causa de este desplazamiento hay que buscarla en la actividad tectónica regional y en la adaptación de la red a las directrices estructurales del zócalo de la cuenca. Ello hace que el río, desde su inicio, haya tendido a erosionar su margen izquierda dejando en la derecha, sucesivos niveles de terraza. La vertiente izquierda, en contraste con la planitud paisajística que ofrecen las terrazas de la margen derecha, se manifiesta en un relieve abrupto y con un notable desarrollo de cárcavas, cuencas torrenciales de corto recorrido y glacis.

Ese esquema, válido para el río Henares, se repite a menor escala en los afluentes Torote y Camarmilla. Esta deriva hace que el borde del páramo retroceda por la actividad erosiva directa que ejerce el Henares y sus afluentes sobre él y, poco a poco, se vaya constituyendo en la actual meseta que se eleva más de 300 m por encima del río.

De la dinámica de la red hidrográfica del río Henares debemos señalar también los fenómenos de captura fluvial, entre los que destaca la captura del Camarmilla por el Torote, lo que es buena prueba de la relativa inmadurez de la red.

Las terrazas más altas del río Henares, en la zona de Meco – Azuqueca, se sitúan 212 m por encima del cauce, a cotas de 804 m, 807 m y 803 m en los cerros de Aguila, Cerrolargo y Cabeza Gorda, respectivamente, que se encuentran entre los valles del Camarmilla y el Torote a la altura de Valdeavero.

Como ya se ha dicho, en los cursos medio y bajo, el río Henares discurre por los materiales terciarios y cuaternarios de relleno de la fosa. Como quiera que los materiales tienen poca resistencia a la erosión y se disponen en posición horizontal o subhorizontal, los relieves generados contrastan con lo descrito para el tramo alto. De una manera general, puede afirmarse que corresponden con un paisaje fluvial maduro.

Los límites de la cuenca, al Noroeste y al Sureste, quedan definidos por altas superficies y constituyen las formas más antiguas de la zona.

Por su límite derecho se extiende la superficie de la raña en la que se encuentra la divisoria entre las cuencas del Henares y del Jarama. En realidad, cabría decir que la raña constituye una forma de transición entre la cabecera montañosa de la cuenca y sus tramos medio y bajo. En efecto, esta superficie y otras de edad pliocena que se extienden por la zona (las llamadas altas superficies divisorias, Pérez Gonzalez, 1990; la superficie de la Mierla y otras) se pueden definir como de piedemonte al articular la transición entre los relieves del Sistema Central (Somosierra, del Robledal y del Alto Rey) y los propios de la fosa. La raña tiene una pendiente media del 7 por mil y con una dirección *grosso modo* NNE-SSO se prolonga hasta las inmediaciones de la población del Casar de Talamanca. En la raíz, las cotas se sitúan próximas a los 1.000 m y en el sector más distante poco más de los 800 m. El conglomerado de cantos de cuarcita y matriz arcilloso-arenosa que constituye su depósito presenta potencias de hasta 7 m y puede definirse como la primera terraza para los ríos Jarama y Henares en este sector. Como esta matriz es muy poco permeable y su topografía es casi plana, la raña presenta numerosas lagunas que son en realidad grandes charcas que reciben el nombre de "navajos". Las más conocidas son las lagunas de Beleña (Foto 8).

La divisoria de la cuenca del río Henares por su margen izquierda (límite Sureste) queda definida por otra superficie: la de los Páramos que, en términos geográficos, constituye la región conocida como La Alcarria. Esta gran planicie nace en los alrededores de Mirabueno, a más de 1.100 m de altitud, al pie de las tierras altas de Sigüenza y se extiende hacia el Suroeste penetrando en la depresión del Tajo como una gran meseta de bordes abruptos que alcanza la población de Chinchón, en la Comunidad de Madrid, a una altitud de 750 m y presentando un desarrollo total de 115 km^2. La superficie está labrada sobre la llamada "caliza de los páramos" generada en el Mioceno Superior. Durante el Plioceno, como ya se ha dicho, la meseta bascula y las calizas, originalmente horizontales, buzan regionalmente hacia el Suroeste con un 0,3 % de pendiente media. Experimenta fenómenos de corrosión kárstica con formación de *terra-rossa* por procesos de descarbonatación y generación de costras calizas. Así, la paramera alcarreña no puede ser considerada como una superficie estructural (propiciada por la práctica horizontalidad de las calizas a pesar de su basculamiento) y sí una superficie de erosión-sedimentación poligénica generada durante el Plioceno y el Plio-cuaternario, de manera que al Norte, en la raíz de La Alcarria, es una superficie esencialmente de denudación que llega a ser de acumulación en su extremo Sur.

El borde del páramo constituye otra unidad geomorfológica generada por la erosión activa que ejerce el Henares y afluentes sobre el páramo haciéndolo retroceder. Sus bordes presentan una gran variedad morfológica. En general, su dinámica es la de un retroceso continuado de éstos por la incisión fluvial en donde abundan los

deslizamientos de ladera y desplomes de la cubierta calcárea. En las vertientes más sencillas, como las que conforman la cabecera del Badiel, en los alrededores de Gajanejos, las laderas presentan, después del bancal cimero que marca la presencia de las calizas del Páramo, unos perfiles rectos que corresponden a vertientes bien coluvionadas donde, a su pie, se generan, también con alimentación coluvial, estrechos pasillos aluviales. En ocasiones, como en las inmediaciones de la población de Ledanca o en las trincheras de la carretera local CM-204 camino de Sigüenza, las vertientes se encuentran cubiertas por depósitos de *grézes litées* de origen periglaciar generados en las fases frías cuaternarias. Aguas abajo, el borde del páramo se articula en dos niveles de glacis de acumulación que se desarrollan, sobre todo, al Sur de la ciudad de Guadalajara. Más al Sur, en las inmediaciones de la ciudad de Alcalá, el modelo se complica con formación de cuencas torrenciales que dejan aislada una faceta triangular que puede interpretarse como la raíz de uno de estos glacis individualizada por la erosión torrencial.

Pero este continuo retroceso del borde del páramo ha ido dejando, por azar erosivo, pequeños retazos de éste que reciben el nombre de cerros-testigo. Así, pueden citarse magníficos ejemplos en la cuenca del Henares de estos cerros aislados de forma troncocónica y que, como no podía ser de otra manera, se encuentran rematados por la calizas del Páramo, configurando así su característica cumbre plana. El cerro de Alarilla, en las inmediaciones de la población de Humanes, es quizá, el cerro de mayor amplitud y se encuentra a unos 15 km al Norte del actual borde, lo que da idea de su retroceso. A su pié, el río Henares sigue en la actualidad socavando su base (por desplazamiento lateral debido al desarrollo de un amplio meandro), generando zonas acarcavadas que se extienden ladera arriba por el cerro. Muy cerca, al Sureste, se encuentra el célebre cerro de Hita, de forma troncocónica perfecta y mucho más reducido que el anterior. Más al norte, el cerro del castillo de Jadraque, esta vez casi adosado al páramo, constituye otro buen ejemplo de cerro testigo. Más al Sur, en las inmediaciones de la ciudad de Alcalá, cabe citar otros como el Ecce Homo o el cerro del Viso (Foto 9).

Por la margen derecha del río Henares y configurando el típico valle asimétrico que tanto se da en la región (el Jarama y el Manzanares, entre otros), se extienden, en contraste con el borde del páramo descrito en los párrafos anteriores, sucesivos niveles de terraza que culminan en la superficie de la raña (Foto 10). En términos geográficos, la región se corresponde con la llamada Campiña. Esta se extiende por 411 km^2 de la cuenca terciaria del Henares y presenta hasta una veintena de niveles de terrazas con cotas relativas entre los 7-9 m y los 210-212 m por encima del nivel del río siendo una de las cuencas españolas con mayor número de niveles. Todas estas terrazas están colgadas unas con respecto a otras si exceptuamos las dos más bajas (+7-9 m y +10-12 m), que están solapadas y unidas a la llanura aluvial actual. Los niveles de terrazas situadas a cotas superiores al de +40 m están muy erosionados, se encuentran separados del resto por un escalón brusco y su perfil presenta una notable pendiente; el resto sin embargo, forman un territorio de amplitud considerable y bien conservado. Por ello se considera sólo a estas últimas como verdaderas terrazas de campiña. Los depósitos que configuran estos niveles consisten en gravas, arenas y conglomerados de cemento calcáreo de clastos de cuarcita (77%), caliza (17%) y cuarzo (6%), con espesores máximos de 5-6 m.

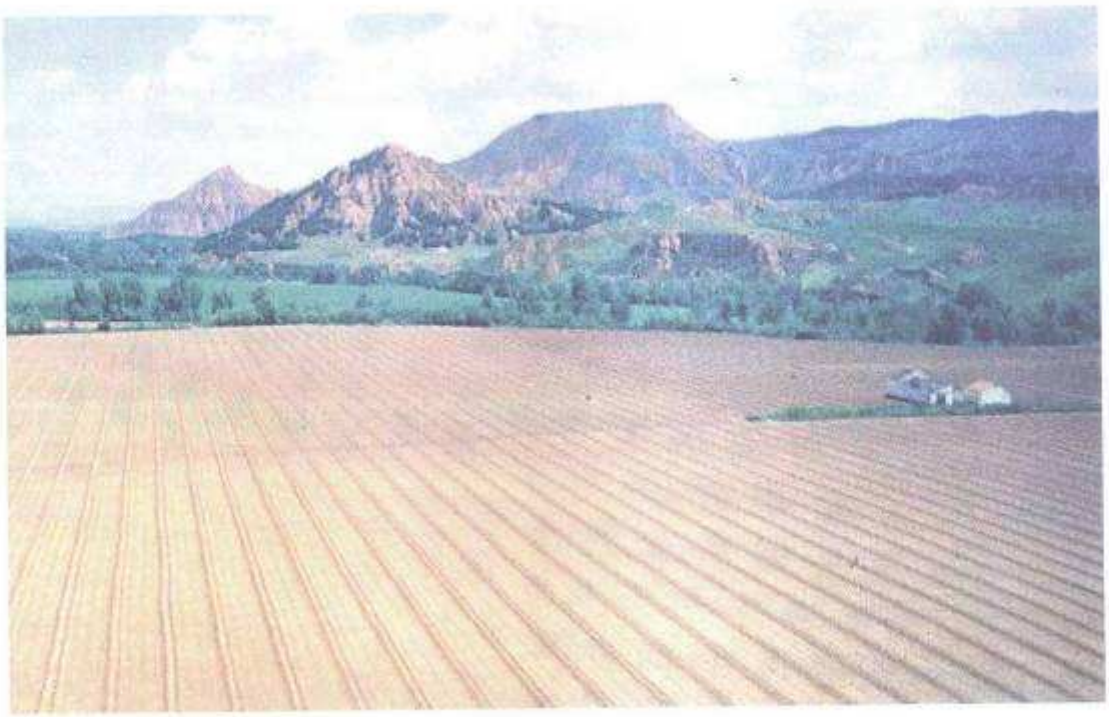

Foto 9. *La vega del río Henares a su paso por la ciudad de Alcalá de Henares, con el cerro testigo del Ecce Homo al fondo (foto Miguel Martín-Loeches).*

Foto 10. *La campiña del río Henares en Humanes de Mohernando vista desde el cerro Alarilla. Se pueden distinguir hasta seis niveles de terrazas (foto Eduardo Acaso).*

El número de terrazas desminuye hacia aguas arriba del valle. Así, en la zona de Humanes-Mohernando, Villarroya (1978) distingue únicamente seis niveles de terrazas, hasta +100-120 m. Por último, la llanura aluvial (ver Foto 9) (la vega en términos geográficos y en sentido restringido, pues a veces se incluyen las terrazas más bajas) que define la actual zona de dominio del río. Es relativamente estrecha aunque va ensanchando a medida que el río se aproxima a su confluencia con el Jarama. El colector principal, el Henares, deambula por esta llanura generando barras activas y vegetadas y con escasa tendencia a la formación de meandros.

Cuencas Media y Baja: Hidrogeología

Todos los materiales de las cuencas media y baja del río Henares poseen un cierto valor de permeabilidad que los califica, al menos, como acuitardos o formaciones geológicas donde el agua subterránea circula lentamente y en cantidades significativas. Todos ellos se encuentran por tanto, unidos hidráulicamente; se diferencian por el contraste que ofrecen en el valor de los parámetros hidráulicos y su diferente comportamiento.

Las Unidades Hidrogeológicas más importantes en este sector de la cuenca (ver Figura 2) son las siguientes: En la facies detrítica, el Mioceno detrítico, conformando parte de la UH 03.04 ("Guadalajara"), con una extensión de 1.453 km^2 y un espesor medio de 480 m; en la facies química, 160 km^2 de la UH 03.06 ("La Alcarria"o caliza de los Páramos), con entre 10 y 15 m de potencia. Las terrazas del Cuaternario conforman una tercera Unidad, no diferenciada en Figura 2, pero cuya extensión puede apreciarse en Figura 1; abarca una superficie de 405 km^2, y su espesor no supera los 6 m. Oculta en gran medida a la UH 03.04

El Mioceno detrítico o UH 03.04 constituye un sistema acuífero multicapa, de carácter libre. Se puede asimilar a un conjunto de acuíferos, acuitardos y acuicludos que tienen entre ellos conexión hidráulica. En su conjunto se han estimado valores de permeabilidad medios de 0,2 m/día, transmisividades de 7 m^2/día y caudales específicos entre 0,02 y 0,7 L/s.m. Los primeros 180 m de esta unidad son algo más permeables que el resto (algunos autores diferencian de hecho dos unidades dentro de ella).

En relación a su comportamiento hidrogeológico debemos destacar lo siguiente:

1 - En las zonas centrales de interfluvio se observa que a medida que se profundiza un pozo, el nivel del agua dentro de él va disminuyendo.

2 - En los valles ocurre lo contrario, los niveles ascienden al profundizar los pozos. Hasta hace pocos años eran muy numerosos los pozos de carácter surgente en la franja correspondiente al valle fluvial y las dos primeras terrazas (en la actualidad este es un fenómeno poco frecuente por la explotación de la zona).

3 - En las zonas intermedias entre las divisorias de aguas y los fondos de valle, no se observan variaciones significativas del nivel al variar la profundidad de los pozos.

4 - Se observa igualmente que existe una variación de la composición química del agua subterránea, siendo de los interfluvios a los ríos, cada vez más clorurada, más sulfatada y menos bicarbonatada. En las zonas altas de interfluvio son bicarbonatadas cálcicas de mineralización media-baja y el los valles bicarbonatadas sódicas con alta mineralización.

5 - Las aguas subterráneas de los interfluvios son más modernas que las que se localizan en los fondos de valle. Villarroya (1978), mediante el uso del C-14 obtiene para las primeras una edad aproximada de 2.500 años y para las segundas de 13.000 años, en un perfil concreto que pasa por Alcalá.

Todo ello apoya la hipótesis de funcionamiento hidráulico en el que existe una infiltración del agua de lluvia en los interfluvios, con flujo vertical descendente en la zona saturada en esa franja, y una descarga en los valles, después de un recorrido variable, con flujo vertical ascendente. Este funcionamiento se esquematiza en Figura 4, que representa un corte idealizado del Terciario de la cuenca entre los extremos I y I', ya marcados en el mapa de Figura 2.

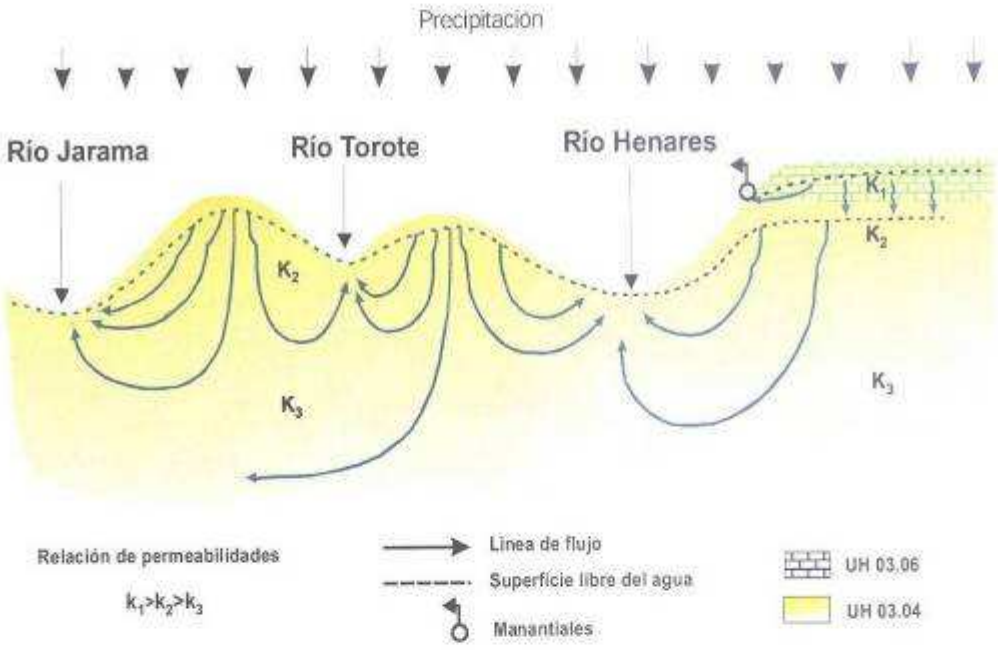

Figura 4. Corte esquemático I-II del mapa en Figura 2 con indicación del flujo de agua subterránea en la facies detrítica (UH 03.04) y en las calizas de los Páramos (UH 03.06) de la cuenca terciaria del río Henares (modificado de Villarrolla, 1977).

Las calizas de los Páramos o UH 03.06 constituye un sistema cárstico de mayor permeabilidad que el Mioceno detrítico, por lo que el agua de lluvia que se infiltra desde su superficie, en parte es descargada a través de manantiales en la franja de contacto de esta unidad con el detrítico (u otras litologías en algunos puntos), y el resto progresa en su infiltración para recargar el sistema del Mioceno detrítico.

En Figura 4 se muestra también el funcionamiento general de esta unidad. En los manantiales y pozos del páramo se observa que el agua es de dureza moderada a alta (25-30 %) y de naturaleza bicarbonatada cálcica y bicarbonatada magnésica. Lo normal es que no superen los 300 mg/L de TSD.

Las terrazas del Cuaternario, constituidas por conglomerados, gravas y arenas, poseen mayor permeabilidad que los materiales detríticos del Mioceno, de manera que en los escarpes, como son colgadas, descargan a través de manantiales, el agua que se infiltra en su superficie superior. Sus aguas presentan también un carácter bicarbonatado cálcico pero con menor dureza que en el caso de las calizas de los páramos. Los pozos excavados en las terrazas pueden dar hasta 12 L/s.m de caudal específico.

Parte del patrimonio histórico de Alcalá de Henares son los llamados "Viajes de Agua", galerías subterráneas ubicadas al norte de Alcalá, que drenan las aguas de las terrazas y del Mioceno detrítico en contacto con ellas, y que suministraron agua a la ciudad, a través de sus fuentes públicas, desde el siglo XVI hasta los primeros años del siglo XX.

Por comparación de los caudales base registrados en las estaciones de aforo de Humanes y de Espinillos (ver Figura 2), se estima que en la cuenca terciaria detrítica del Henares, el 81% de la lluvia se evapotranspira (408 mm/año), que el 9% se convierte en escorrentía directa (45 mm/año) y que el 10% (52 mm/año) es escorrentía básica o subterránea; de manera que se igualan las aportaciones al Henares procedentes del escurrimiento superficial con las que alcanzan el cauce por vía subterránea.

Las aportaciones en régimen natural del Henares son muy sensibles a los períodos secos, tanto más mientras más prolongados sean estos; el nivel de descarga más bajo de los acuíferos, (el cauce del Henares o los puntos de afloramiento del agua subterránea en las cabeceras de los principales afluentes) puede llegar a encontrarse por encima del nivel freático, como ocurrió en el mes de agosto del año hidrológico 1953-1954, antes de la construcción de las primeras presas, cuando se registraron 0,0 hm^3 en la estación de aforos de Espinillos.

Bibliografía Recomendada

Cadavid S. 1977. Mapa estructural del techo del basamento del borde meridional de la Sierra de Guadarrama. Boletín Geológico y Minero, T. LXXXVIII: 494-496.

Capote R., Carro S. 1968. Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo. Estudios Geológicos, Vol. 24: 91-95.

C.H.T. 2002. La cuenca del Tajo en cifras. Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Tajo. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Hernando S. 1977. Pérmico y Triásico de la región Ayllón-Atienza (provincias de Segovia, Soria y Guadalajara). Tesis Doctoral, UCM, Madrid. Seminarios de Estratigrafía, Serie Monografías, 4: 399-410.

I.G.M.E. 1983. Geología de España. Libro Jubilar de J.M. Ríos. Tomo II. IGME. Madrid.

I.G.M.E. 1984. Programa nacional de gestión y conservación de los acuíferos. Calidad química de las aguas subterráneas de la Cuenca del Tajo. Primer informe. IGME. Madrid.

I.T.G.E. 1987. Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. ITGE, Madrid.

I.T.G.E. 1990. Mapa geológico de España a escala 1: 50000. Hoja nº 535, ALGETE. ITGE, Madrid.

López Vera F. 1976.. Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid. Memorias del IGME, nº 91.

Pedraza. 1996. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda.

Pérez González J. 1990. Memoria del mapa geológico nacional a escala 1:50000, Hoja nº 485"Valdepeñas de la sierra". ITGME. Madrid.

S.G.O.P. 1990. Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e islas Baleares. Publicaciones del MOPU. Madrid.

Villaroya F. 1977. Hidrogeología Regional del Neógeno Detrítico y Cuaternario de la Cuenca del Río Henares. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense, Madrid.

II. CONTAMINACIÓN POR NITRATO DEL ACUÍFERO ALUVIAL

Juan J. Martínez-Bastida[1], *Mercedes Arauzo*[1] *y María Valladolid*[2]

[1]Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC
[2]Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC

Introducción

La lixiviación de grandes cantidades de nitrato procedentes de las prácticas de fertilización agrícola genera un grave problema de contaminación difusa de los recursos hídricos subterráneos. Como resultado, se alcanzan concentraciones de nitrato en las reservas de agua que pueden afectar a la salud humana y a la calidad ambiental. En Europa la norma encargada de regular esta problemática es la Directiva 91/676/CEE, en la que se establece una concentración de referencia de 50 mg NO_3 /L (equivalente a la de 10 mg NO_3-N/L en otras normativas), valor a partir del cual se entiende que el agua está afectada por un proceso de contaminación. La Directiva define como zona vulnerable aquella superficie territorial cuya escorrentía o filtración pueda originar contaminación de las aguas por nitrato. Asimismo, obliga a los países miembros a realizar cada cuatro años una declaración de sus zonas vulnerables y a aplicar medidas correctoras encaminadas a deducir los niveles del contaminante, valorando la efectividad de tales medidas correctoras.

La contaminación por nitrato afecta de forma creciente a todos los países de la Unión Europea, si bien el problema se hace extensivo a cualquier país desarrollado o en vías de desarrollo. Se trata pues de una cuestión de difícil solución por sus implicaciones tanto ambientales como económicas: por una parte, la protección de las reservas de agua conlleva cambios significativos en la gestión medioambiental; por otra, las iniciativas de regeneración y conservación de los recursos hídricos podrían generar efectos colaterales negativos sobre la economía de amplias zonas altamente productivas del medio agrario. Y los acuíferos aluviales, situados en los depósitos detríticos cuaternarios, son probablemente los recursos hídricos subterráneos más vulnerables. Las razones que justifican su alta vulnerabilidad son, entre otras, la gran permeabilidad de los depósitos aluviales, la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno, la conexión hidráulica entre aguas las superficiales y las subterráneas en el conjunto río-acuífero y, sobre todo, el uso del territorio, generalmente agrícola. La agricultura de regadío se sitúa desde tiempos inmemoriales en las vegas de los ríos, sobre los acuíferos aluviales asociados a los mismos, hecho que incrementa notablemente el riesgo de lixiviación del nitrato procedente de los fertilizantes. La combinación de unas prácticas de fertilización en exceso y unos sistemas de riego poco o nada optimizados, dan como

resultado inmediato unos niveles elevados de nitrato en los acuíferos aluviales, hecho que nuestro equipo de investigación viene constatando en las vegas de la Comunidad de Madrid, entre las que se encuentra la vega del río Henares. Con relación al seguimiento de los procesos de lixiviación de nitrato en la Comunidad de Madrid es destacable el estudio titulado "caracterización de las fuentes agrarias de contaminación de las aguas por nitratos", publicado por el Ministerio de Medio Ambiente, en el que se aportan mapas de síntesis sobre aportes de nitrógeno, concentración de nitratos en las aguas subterráneas, y áreas vulnerables a la contaminación por nitrato procedente de fuentes agrarias.

El problema fundamental es que, dado el carácter extensivo del estudio, en la Comunidad de Madrid queda circunscrito a las grandes Unidades Hidrogeológicas del Terciario que, parcialmente, se sitúan en su superficie territorial (UH 03.03 Torrelaguna-Jadraque, UH 03.04 Guadalajara, UH 03.05 Madrid-Talavera, UH 03.06 La Alcarria). El resto de los recursos hídricos subterráneos no incluidos en las Unidades Hidrogeológicas, constituidos por múltiples acuíferos de interés local, se reúnen bajo la denominación "99" (Plan Hidrológico de la Cuenca del Tajo; BOE nº 207, Orden de 13 de agosto de 1999). A este grupo pertenecen los acuíferos aluviales de los depósitos cuaternarios de la Comunidad, entre los que se encuentra el acuífero aluvial asociado al río Henares. A pesar de que el acuífero aluvial del río Henares está ubicado bajo una de las zonas más importantes de explotación agrícola de regadío de la Comunidad de Madrid, su estado de calidad, en lo relativo a compuestos nitrogenados, ha sido escasamente estudiado. Mediante el Proyecto GR/AMB/0745/2004, financiado por la Comunidad de Madrid, se ha establecido una red de pozos para el muestreo de los acuíferos aluviales sobre los depósitos cuaternarios de la cuenca del río Jarama, con unos resultados preliminares que indican que el 53% de los pozos presentan valores de nitrato (NO_3^-) superiores a 50 mg/L, el 27 % entre 25 y 50 mg/L, y sólo el 20 % inferiores a 25 mg/L.

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes al valle del río Henares, aportando una amplia y actualizada caracterización fisicoquímica de las aguas del acuífero aluvial y de las aguas fluviales. Asimismo, se analiza el nivel de cumplimiento de la Directiva 91/676/CEE, se presenta un primer mapa de distribución para el nitrato en el acuífero aluvial del río Henares, y se explora la relación entre la distribución del contaminante y la agricultura de regadío, como principal fuente de contaminación para este compuesto nitrogenado.

Metodología

Se ha establecido una red de muestreo de aguas subterráneas en el acuífero cuaternario aluvial del río Henares, cuyas estaciones corresponden a pozos situados a lo largo de toda la superficie territorial del acuífero (Figura 1). La red se ha completado con cuatro estaciones fluviales en el río Henares, dos de las cuales pertenecen a la Confederación Hidrográfica del Tajo.

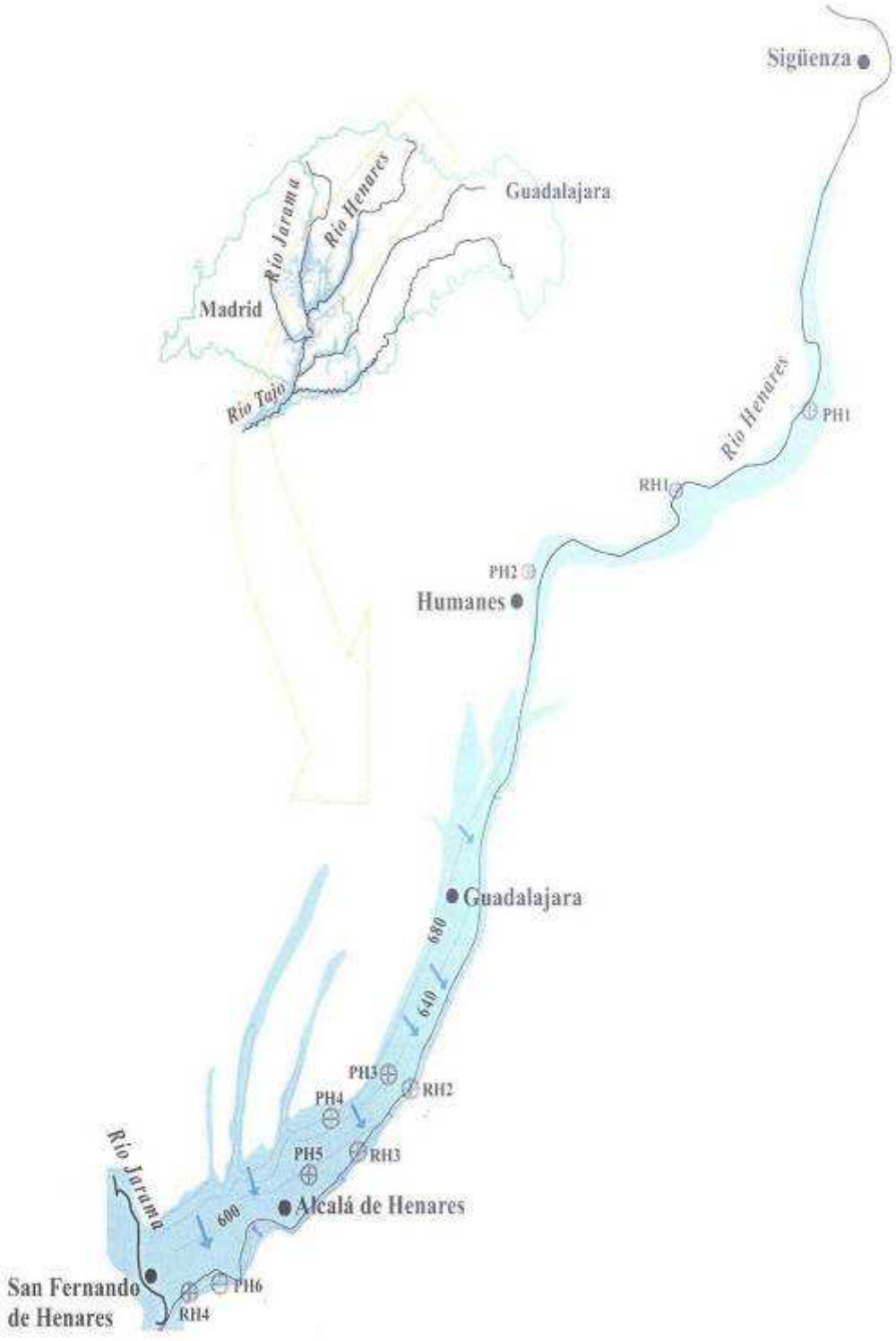

Figura 1. *Situación geográfica y límites del acuífero aluvial del Henares (en azul). Localización de las estaciones de muestreo (en el acuífero: PH1-PH6; fluviales: RH1-RH4). Se dibuja el mapa piezométrico del acuífero y el sentido del flujo del agua.*

En Tabla 1 se presentan las características litológicas del sustrato y los usos del suelo en el entorno de las estaciones de muestreo. En cada estación de muestreo, y durante dos campañas correspondientes a invierno (marzo) y verano (agosto) de 2005, se midieron in situ los siguientes parámetros: temperatura del agua, oxígeno disuelto, potencial re-dox, pH y conductividad eléctrica, mediante un sistema multiparamétrico portátil conectado a multisonda y kit pH/re-dox (modelo YSI 556).

Tabla 1. *Localización y características de las estaciones de muestreo.*

Estación	Municipio	Geología	Usos del suelo	Superficie de regadío aguas arriba (Km^2)
RH1	Alarilla	Arenas, limos arenosos, cantos (fondos de valle)		
RH2	Guadalajara	Arenas, limos arenosos, cantos (fondos de valle)		
RH3	Alcalá de Henares	Arenas, limos arenosos, cantos (fondos de valle)		
RH4	Loeches	Arenas, limos arenosos, cantos (fondos de valle)		
PH1	Baides	Gravas, arenas y limos	Zona natural	0
PH2	Humanes	Gravas, arenas y limos	Secano	0
PH3	Alovera	Gravas, arenas y limos	Regadío (maíz y cultivo arbóreo)	79
PH4	Azuqueca de Henares	Gravas, arenas y limos	Regadío (maíz y cultivo arbóreo)	99
PH5	Alcalá de Henares	Gravas, arenas y limos	Regadío / Recuperación de soto	100
PH6	Loeches	Gravas, arenas y limos	Erial	1

También se midió la profundidad del nivel freático (distancia desde la superficie de la zona saturada hasta la superficie del suelo), y la altitud se determinó mediante un GPS modelo Garmin 12.

Las muestras de agua se obtuvieron con una botella muestreadora de apertura horizontal de 2,5 L o un Hidronivel Meyer con botella tomamuestras. En cada muestra se analizaron las siguientes variables: demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total, nitrógeno total, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos, bicarbonatos, cloruros, calcio, potasio, magnesio, sodio y sílice.

Los aniones se determinaron mediante cromatografía iónica. Para el análisis de cationes se utilizó espectrometría de emisión ICP-AES (plasma de acoplamiento inductivo). La demanda química de oxígeno se determinó mediante la técnica del dicromato potásico. El nitrógeno total y el fósforo total se valoraron por colorimetría. Todas las técnicas analíticas empleadas están estandarizadas.

Se ha elaborado el primer mapa de distribución espacial del contenido en nitrato en el acuífero aluvial del Henares, a partir de los valores medios anuales en los puntos de muestreo del acuífero.

Mediante regresión lineal, se ha explorado la posible relación entre la distribución espacial del nitrato en el acuífero y distribución espacial del regadío en el área de estudio. Para ello, se ha utilizado como indicador de la superficie de regadío el número de kilómetros cuadrados de regadío aguas arriba de cada estación de muestreo del acuífero, considerando, en cada caso, la zona de influencia hidrogeológica (sentido del flujo del agua).

Las estimaciones de las superficies de regadío aguas arriba de cada pozo se obtuvieron a partir del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos publicado por el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

Descripción del Acuífero Aluvial del Río Henares

La cuenca del río Henares es tributaria de la cuenca del río Jarama. Su acuífero aluvial se sitúa sobre las formaciones cuaternarias de vega y terrazas del Henares, compuestas por depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas. Ocupa una superficie aproximada de 405 km^2, y se extiende por las provincias de Guadalajara y Madrid. Es un acuífero libre, conectado hidráulicamente con el río, con un espesor saturado que oscila entre 3 y 7 metros y una elevada permeabilidad (200-400 m/día); el río Henares recibe la descarga subterránea del acuífero durante la práctica totalidad del año, salvo en épocas de marcado estiaje.

La recarga del acuífero se produce por infiltración directa del agua de las precipitaciones caídas sobre la llanura de inundación, complementándose con descargas laterales y por el fondo (agua proveniente del acuífero Terciario), además de los retornos procedentes de las áreas de regadío. En gran parte de las terrazas de la margen derecha del río se localizan acuíferos colgados.

Según el sentido del flujo del agua, indicado mediante flechas perpendiculares a las isopiezas en Figura 1, se observa en la margen derecha, coincidiendo con la zona de mayor actividad agrícola de regadío (ver Figura 2), el sentido dominante del flujo del agua que es noroeste-sudeste (hacia el cauce del río).

En la zona sur, desde los alrededores de Torrejón de Ardoz hasta la desembocadura en el Jarama, el cuaternario recibe la descarga de los acuíferos pertenecientes a la facies de transición (unidad Anchuelo), y da lugar a aguas con cierta salinidad y de mala calidad.

La agricultura de regadío, muy desarrollada en la margen derecha del valle del río Henares, en la zona comprendida entre Guadalajara y Alcalá de Henares (Figura 2), es por tanto la principal fuente potencial de contaminación por nitrato de los recursos hídricos subterráneos.

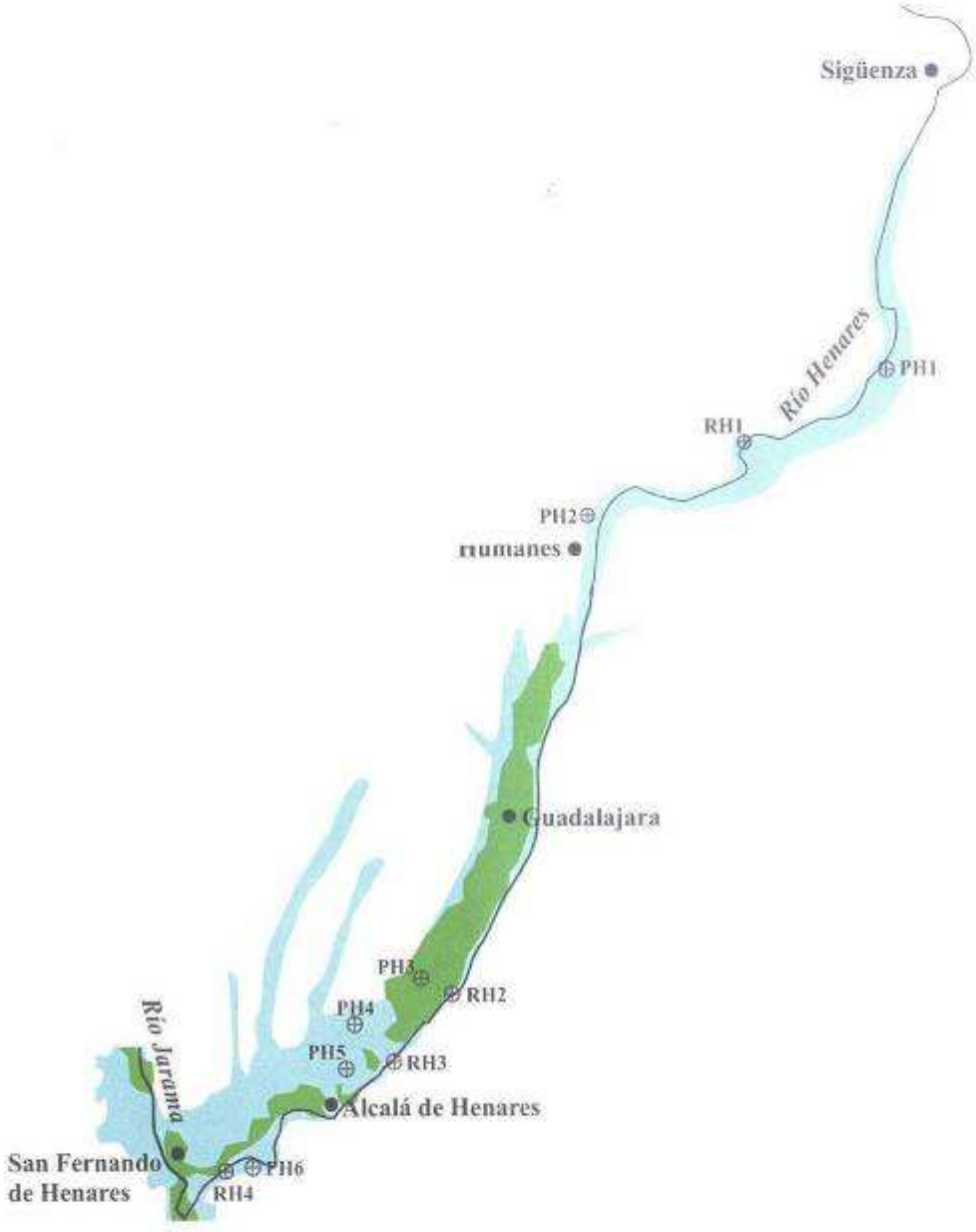

Figura 2. *Mapa de distribución de regadíos (en verde) sobre el acuífero aluvial del río Henares (en azul). Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2005).*

Caracterización de las Aguas Superficiales y Subterráneas

En Tabla 2 se muestran valores medios y desviaciones estándar de los parámetros físico-químicos analizados en cada punto de muestreo durante el año 2005 (campañas de invierno y verano).

Tabla 2. *Valores medios y desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos.*

	RH1	RH2	RH3	RH4	PH1	PH2	PH3	PH4	PH5	PH6
Temperatura (°C)	2,2	3,9	15,0 ± 10,2	12,5 ± 12,3	12,8	27,2	16,9 ± 3,7	18,6 ± 7,3	16,1 ± 5,0	19,1 ± 8,9
Conductividad (µS/cm)	946	1039	858 ± 217	874 ± 305	1565	913	1149 ± 74	733 ± 230	1663 ± 157	2728 ± 379
Oxígeno disuelto (mg/L)	13,5	7,2	7,4 ± 2,3	7,6 ± 2,9	6,6	3,1	5,9 ± 1,8	6,2 ± 1,4	6,4 ± 0,3	6,2 ± 2,1
pH	8,0	7,2	7,6 ± 0,2	7,7 ± 0,2	7,9	7,9	7,5 ± 0,4	7,2 ± 0,5	7,1 ± 0,3	7,1 ± 0,1
Potencial redox (mV)			118 ± 56	104 ± 39	77	113	158 ± 19	86 ± 37	101 ± 87	127 ± 40
DQO (mg/L)	7	10	18 ± 5	24 ± 1	0	0	7 ± 1	10	9 ± 3	10 ± 2
Fósforo total (mg/L)	0,03	0,91	0,54 ± 0,01	1,17 ± 0,42	0,28	0,11	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,07	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Nitrógeno total (mgN/L)	2,50	6,50	6,90 ± 0,57	8,89 ± 0,42	0,31	0,53	16,00 ± 2,83	5,26 ± 8,10	15,45 ± 0,21	3,79 ± 0,28
Nitratos (mg/L)	9,0	12,0	15,2 ± 4,2	21,2 ± 1,1	0,70	2,40	70,1 ± 13,1	19,1 ± 34,4	63,8 ± 2,8	12,8 ± 4,9
Amonio (mg/L)	<0,05	3,90	2,55 ± 0,14	3,05 ± 0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitritos (mg/L)	0,03	0,27	2,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fluoruros (mg/L)	0,19	0,25	0,50	0,60	0,29	0,16	0,43	0,70	0,60	0,20
Cloruros (mg/L)	69	72	87	86	140	70	123	86	221	248
Fosfatos (mg/L)	<0,05	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfatos (mg/L)	274	273	258	235	712	139	303	205	644	1574
Bicarbonatos (mg/L)	233	294	254	254	0	0	0	293	293	439
Calcio (mg/L)	152	181	136	128	300	83	177	138	203	307
Potasio (mg/L)	3,0	6,0	3,9	5,8	4,6	2,6	5,1	5,1	15,3	20,6
Magnesio (mg/L)	30	35	37	39	46	22	74	57	99	222
Sodio (mg/L)	48	82	67	80	69	34	59	67	171	234
Sílice (mg/L)			1,9	1,4	4,7	4,3	9,3	11,8	8,4	7,6

En Figura 3 se representan los histogramas de algunos de estos parámetros. La composición de las aguas fluviales y del acuífero aluvial es de tipo sulfatado-cálcica, con elevada concentración de magnesio en el tramo final del conjunto río-acuífero. A pesar de las mejoras en los sistemas de depuración y saneamiento introducidos durante las últimas décadas, estos resultados indican que no se ha producido una variación sustancial en la calidad de las aguas en el tramo bajo del río Henares, cuando se comparan con los obtenidos en estudios previos. La presencia de sulfatos y cloruros en elevadas concentraciones sería explicable por las descargas de agua desde los acuíferos terciarios de Guadalajara y, especialmente, los de las facies de transición (situados sobre áreas margosas y yesíferas) y por los aportes debidos a la escorrentía superficial.

También, en Figura 3, se puede observar el gráfico en columnas apiladas con las distintas formas de nitrógeno (nitrato, nitrito, amonio y nitrógeno orgánico), para cada una de las estaciones del río y del acuífero (concentraciones expresadas en mg/L de nitrógeno). Es evidente que la forma dominante en las aguas del acuífero es el ión nitrato, debido a que la zona no saturada es un sistema oxidante abierto. En el tramo inferior del río, sin embargo, aparecen junto al ión nitrato concentraciones apreciables de amonio, nitrito y nitrógeno orgánico, explicables por la incorporación de los efluentes de las depuradoras situadas aguas abajo de Guadalajara.

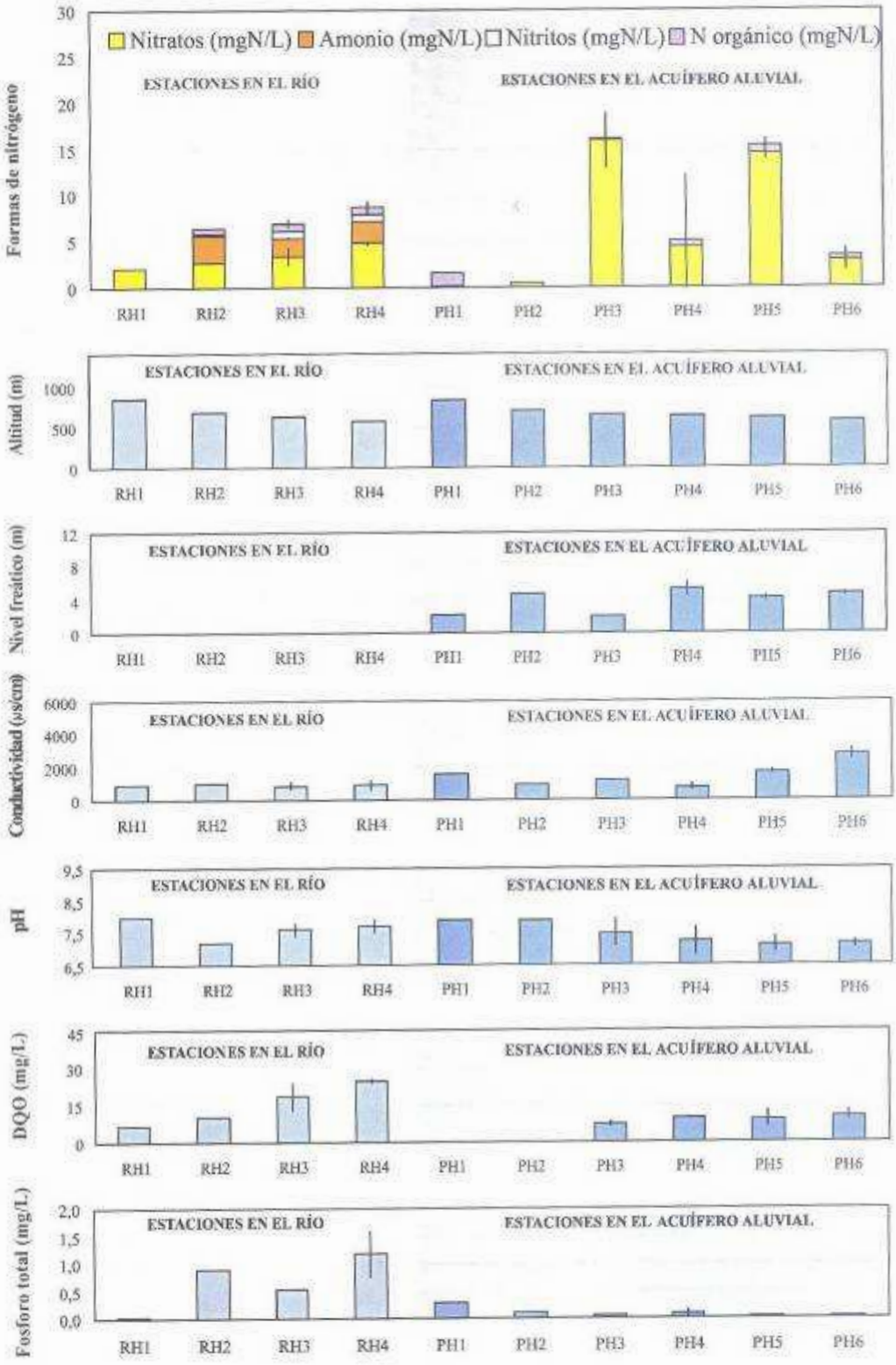

Figura 3. *Histogramas construidos en base a los valores medios (±DE) de los parámetros fisicoquímicos para las dos campañas de muestreo.*

Distribución del Nitrato en el Acuífero Aluvial

En Figura 4 se muestra el mapa de distribución espacial del nitrato en el acuífero aluvial del río Henares. Los tramos con mayor contenido en nitrato son los comprendidos entre Guadalajara y Alcalá de Henares, coincidiendo con áreas de intensa actividad agrícola de regadío (véase Figura 2). Es importante hacer notar que en amplias zonas del área de estudio se siguen aplicando prácticas de riego poco optimizadas, como es el riego por inundación (fundamentalmente en cultivos arbóreos y campos de maíz). Esta práctica derrocha grandes cantidades de agua y maximiza los procesos de lixiviación desde la zona no saturada hacia la zona saturada.

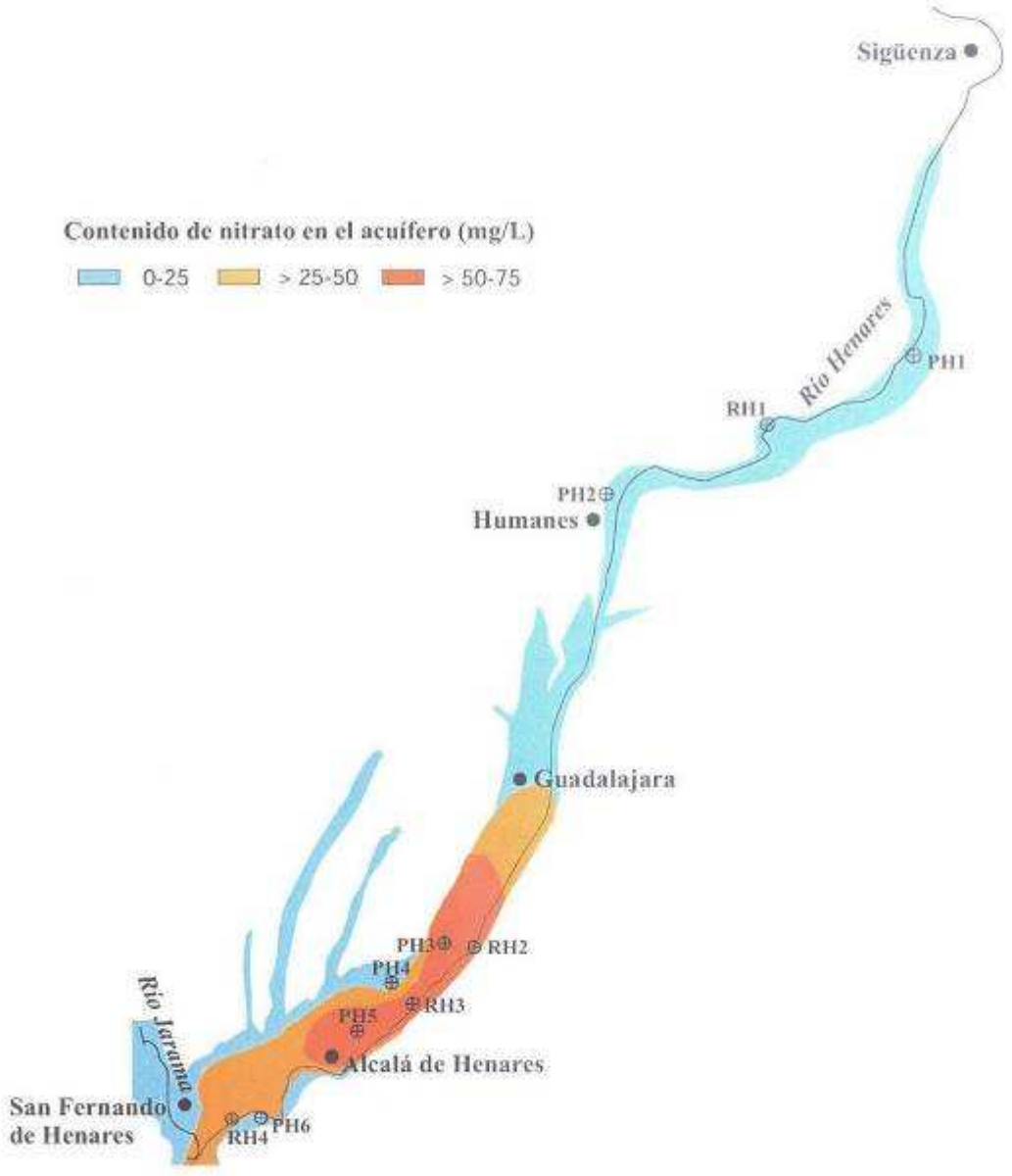

Figura 4. *Mapa de la distribución espacial del nitrato en el acuífero aluvial del Henares, a partir de los valores medios de las dos campañas de muestreo.*

En Figura 5 se representa la relación lineal entre el contenido de nitrato en las aguas del acuífero y la superficie de regadío aguas arriba de cada pozo de muestreo (área de influencia hidrogeológica de los mismos), con un coeficiente de correlación de $r = 0,73$ ($p<0,05$).

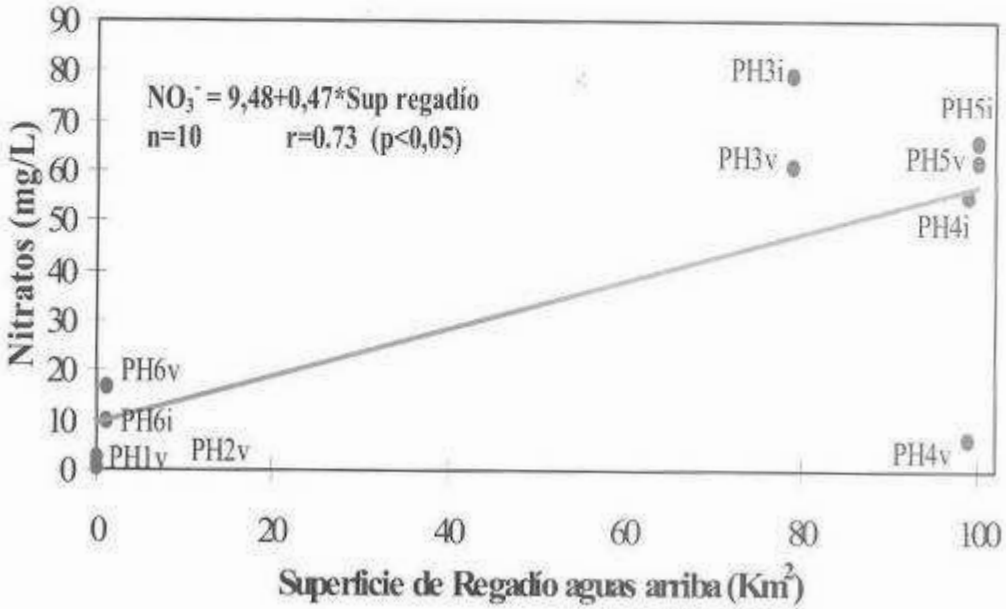

Figura 5. *Regresión lineal entre la concentración de nitrato en los pozos durante las campañas de invierno (i) y verano (v), y la superficie de regadío aguas arriba de cada estación de muestreo.*

En el punto PH4, se observa una gran variabilidad en el contenido en nitrato (véanse Figura 3 y Tabla 2), que quizás podría deberse a una mayor tasa de renovación del agua con relación al resto del contexto aluvial. La localización del punto PH6 en la margen izquierda del río, explicaría su escaso contenido en nitrato, ya que en este punto el sentido del flujo del agua proviene de las parameras próximas al río y además apenas existe superficie de regadío en esa margen del río. La incorporación de nuevos puntos a la red de muestreo y la realización de futuras campañas de recogida de muestras permitirán validar estos resultados preliminares, si bien, la información recopilada hasta la fecha parece explicar las elevadas concentraciones de nitrato como una consecuencia directa de la lixiviación procedente de los fertilizantes agrícolas.

Medidas de Conservación

El elevado nivel de nitrato en una gran proporción del acuífero aluvial del Henares y la gran vulnerabilidad del sistema río-acuífero, sugiere su declaración como zona vulnerable (Directiva 91/676/CEE) y, por tanto, la adopción de medidas orientadas al desarrollo de buenas prácticas agrícolas.

Se hace necesaria la realización de trabajos de investigación de tipo extensivo que permitan interpretar con mayor precisión la interacción entre la zona saturada y la

zona no saturada, determinar el papel de los usos del territorio, y valorar el efecto de ambos factores sobre la dinámica espacio-temporal del nitrato en las masas de agua.

Asimismo, deben abordarse trabajos encaminados a mejorar las estrategias de riego y abonado en los agrosistemas de la vega del río Henares. Estudios de estas características proporcionarán una base científica sólida para el desarrollo de propuestas de regeneración de los recursos hídricos que permitan compatibilizar unas prácticas agrícolas más optimizadas y una gestión sostenible de los agroecosistemas.

Una medida inicial y necesaria es la puesta en marcha de campañas informativas dirigidas a los agricultores, con el objetivo de asesorarles sobre las implicaciones de la designación como zona vulnerable y sobre la necesidad de aplicación de unas buenas prácticas agrícolas.

Por todo ello, el apoyo institucional es primordial para acometer las modificaciones necesarias, puesto que la modernización de los sistemas de riego requiere de inversiones difícilmente abordables por el agricultor, sujeto a grandes presiones económicas derivadas de la política comunitaria.

Conclusiones

Las aguas del sistema río-acuífero del Henares presentan una calidad inferior a la prevista en los objetivos de calidad del Plan Hidrológico de la cuenca del río Tajo: exceso de sulfatos y cloruros, como consecuencia de las descargas subterráneas de las unidades hidrogeológicas terciarias subyacentes y de los aportes por escorrentía superficial, exceso de fósforo en el río, debido a la incorporación de efluentes de depuradoras procedentes de núcleos urbanos y altos niveles de nitrato en el acuífero, mayoritariamente de origen agrícola.

En el acuífero se observan extensas áreas que presentan concentraciones de nitrato por encima del valor máximo establecido en la Directiva 91/676/CEE (50mg/L). La zona más afectada está comprendida entre Guadalajara y Alcalá de Henares, en concordancia con la distribución del área principal de explotación agrícola en regadío de la vega del río Henares.

Se observa una correlación significativa entre el contenido en nitrato en las aguas del acuífero y la superficie de regadío aguas arriba de cada pozo, que avala la hipótesis de que la agricultura de regadío constituye una importante fuente de contaminación difusa para el acuífero.

La recuperación de la calidad de las aguas del acuífero implica la adopción de medidas de protección. Se hace necesaria su declaración como zona vulnerable, la aplicación del código de buenas prácticas agrícolas en la vega del río Henares y el seguimiento del proceso de regeneración mediante campañas de muestreo de frecuencia semestral.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiando a través del Proyecto GR/AMB/0745/2004 de la Comunidad de Madrid. La Finca El Encín (CM) y algunos propietarios particulares de pozos en la vega del río Henares, han colaborado facilitándonos el acceso a los mismos durante las campañas de muestreo. La Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid y el Fondo Social Europeo participan mediante la financiación de una beca de Formación de Personal Investigador para Juan José Martínez Bastida.

Bibliografía Recomendada

A.P.H.A. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, USA.

Bogardi I., Kuzelka R.D., Ennega W.G. 1991. Nitrate Contamination: Exposure, Consequence, and Control. NATO ASI Series G: Ecological Sciences, vol. 30. Springer-Verlag, New York.

Herráez I., Rubio P.L. 1989. Contaminación por compuestos nitrogenados en el acuífero aluvial de la confluencia de los ríos Jarama y Henares: Origen y evolución. Geogaceta, 6: 27-29.

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 2005. Mapa de cultivos y aprovechamientos. http://www.mapa.es/mca2/inicio.htm.

Ministerio de Medio Ambiente. 2001. Caracterización de las Fuentes Agrarias de Contaminación de las Aguas por Nitratos. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas, Madrid.

Sola A., Longas J.F., Guinea A., Lopez-Santoveña F. 1990. Estudio hidroquímico del río Henares (Cuenca del Tajo). II - Evolución longitudinal y análisis factorial de los parámetros fisicoquímicos en el tramo Guadalajara-Alcalá de Henares. Tecnología del agua, 74: 41-47.

Villaroya F. 1977. Hidrogeología Regional del Neógeno Detrítico y Cuaternario de la Cuenca del Río Henares. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense, Madrid.

III. LA VEGETACIÓN RIBEREÑA

Carmen Bartolomé, Julio Álvarez, F. Javier Rejos y Gustavo Díaz

Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Alcalá

Introducción

El río Henares es, junto con el Tajuña, uno de los dos principales afluentes por la izquierda del Jarama, perteneciendo a la porción superior de la cuenca del río Tajo. Avenan la cuenca del Henares, por la derecha, el río Salado, seguido del Cañamares, Bornova, Aliendre, Sorbe, Camarmilla y Torote; por la izquierda los afluentes principales son el Dulce y el Badiel. Todo este territorio se encuentra ubicado en la Iberia mediterránea (la España seca), caracterizada por ese clima especial en el que durante un periodo anual coinciden las máximas temperaturas con las mínimas precipitaciones, provocando el característico tiempo seco de verano; en los ríos el estiaje puede ser tan acusado que, en los años más secos, algunos de los cauces, como el Aliendre y Camarmilla, pierden por completo el caudal.

Los territorios meridionales europeos suelen presentar climas suaves por las aguas que los bañan y por enclavarse en latitudes calificables de subtropicales, pero la Meseta Central Ibérica, en la que se incluye en su totalidad la cuenca del Henares, es, por el contrario, un territorio de cierta elevación y más bien aislado del mar por su posición interior en nuestra península; esta continentalidad climática genera un fuerte contraste térmico entre invierno y verano, lo que constituye una singularidad dentro del régimen climático mediterráneo, sólo comparable en toda la región biogeográfica a la Península de Anatolia.

Desde el punto de vista geológico, dentro de la cuenca del río Henares se distinguen dos tipos de materiales predominantes: sustratos ácidos en las estribaciones del Sistema Central, al norte, y sustratos básicos en la zona de influencia del Sistema Ibérico y rellenos sedimentarios de la Fosa del Tajo, al sur y el este. Esta diferencia de sustratos permite diferenciar dos unidades biogeográficas entre las que se reparte el territorio en estudio. A la llamada provincia biogeográfica Mediterránea Ibérica Occidental (y dentro de ella, a la subprovincia Carpetano-Leonesa y al sector Guadarrámico) pertenecen la mayor parte de las subcuencas del Cañamares, Bornova, Aliendre y Sorbe con excepción de sus tercios inferiores, además de los extremos noroccidental de la subcuenca del Salado y superior de la del Torote: se trata de la parte del territorio dominada por sustratos ácidos. A la provincia Mediterránea Ibérica Central (subprovincia Castellana y sectores Celtibérico-Alcarreño y Manchego), con sustratos básicos, pertenece el resto de la cuenca. Junto a los sustratos, la variación climática

fundamental que condiciona los cambios de vegetación depende de las diferencias de altitud, la cuál va desde unos 500 m en las partes bajas de la cuenca hasta alrededor de 2.000 m en la Sierra de Ayllón.

Así, bioclimáticamente, podemos distinguir tres pisos: el meso-mediterráneo en altitudes inferiores, aproximadamente hasta los 850-950 m; el supra-mediterráneo, hasta los 1.700-1.900; y el oro-mediterráneo, residual en las más altas cumbres ayllonenses. La precipitación varía de manera notable en el territorio, partiendo de valores por debajo de los 500 mm en las zonas bajas del cauce principal, alcanzando valores superiores a 1.000 mm en la Sierra de Ayllón. Este factor es importante para entender la variación del paisaje vegetal fuera de las riberas, pero tiene una importancia marginal al hablar de vegetación riparia, ligada a la presencia de agua en el subsuelo y, por tanto, en cierta medida independiente de la precipitación recogida en cada sitio concreto.

Cuando hablamos de la vegetación ribereña (o de ribera) estrictamente, el principal factor que aporta variabilidad, tanto en el Henares como en otros ríos mediterráneos, es la posición de la vegetación con respecto al cauce. La proximidad o lejanía al agua del río es una medida de, al menos, dos factores que varían en forma de gradiente perpendicular al eje del cauce: profundidad de la capa freática, es decir disponibilidad hídrica, e intensidad o frecuencia de las crecidas y avenidas violentas, capaces de impedir el crecimiento de la vegetación por rotura o desarraigo. Así, es frecuente que la ribera se estructure en bandas de vegetación paralelas al cauce que se sustituyen unas a otras en función de la influencia mayor o menor de estos dos factores.

Llamamos catena riparia al conjunto característico de comunidades vegetales que se concatenan en el gradiente ribereño. En la cuenca del Henares podemos distinguir cuatro catenas distintas, una por cada territorio biogeográfico o edafoclimático: una en los tramos bajos, de sustratos margosos o arcillosos, básicos (catena Manchega, Figura 1); otra en los tramos altos, margosos o calcáreos (catena Celtibérica, Figura 2); otra en los sustratos silíceos, en tramos bajos y medios de los ríos (catena Carpetana, Figura 3); y otra en sustratos silíceos, pero en los tramos altos (catena Carpetana supra-mediterránea superior, Figura 4). Hay que tener en cuenta que estas catenas son completas, es decir presentan todas las comunidades vegetales posibles en el caso ideal de máximo desarrollo del gradiente ribereño, situación que solo se produce en aquellos valles bien conservados en los que la amplitud de la vega es suficiente. De forma natural, en los valles angostos, de pendientes acusadas, faltarán con frecuencia una o varias de las bandas de vegetación teóricas debido a que la influencia del cauce (capa freática y avenidas) dejará de manifestarse a poca distancia del agua.

En realidad hablamos de un máximo que rara vez se alcanza, encontrándonos con mucha mayor facilidad situaciones fragmentarias o incompletas como consecuencia del uso humano del territorio, especialmente si tenemos en cuenta que son precisamente las mejores vegas, las más amplias y con mayor potencialidad para el desarrollo de estos modelos ideales, las que más han sufrido un uso intensivo (agricultura y asentamiento) desde hace más tiempo (Foto 1).

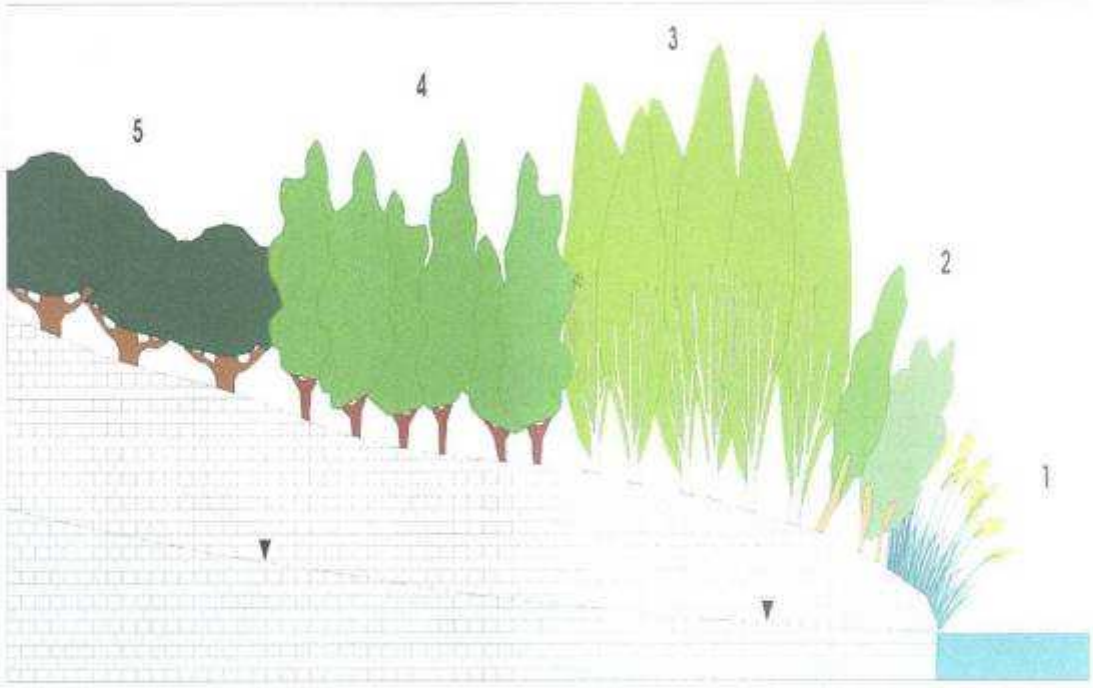

Figura 1. *Catena riparia manchega. 1 = carrizal; 2 = saucedas arbustivas; 3 = alamedas; 4 = olmedas.; 5 = encinar (fuera de la ribera).*

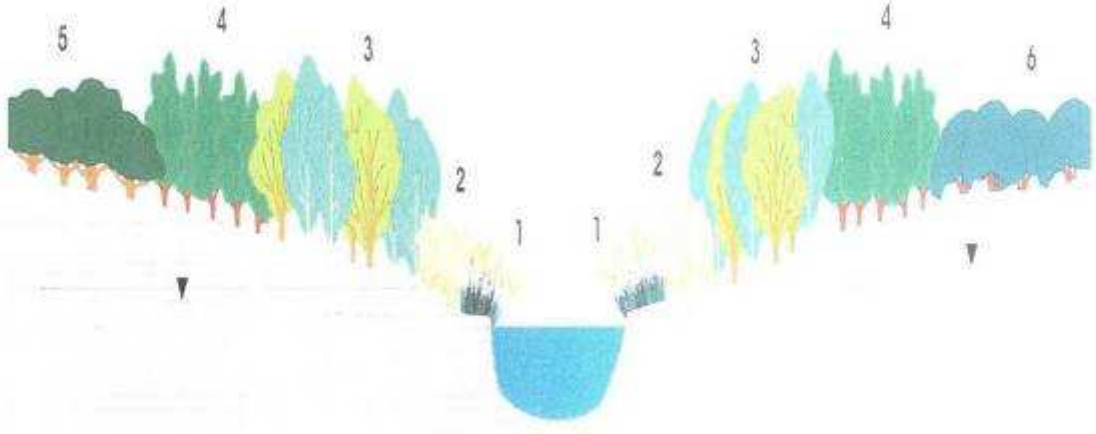

Figura 2. *Catena riparia celtibérica. 1 = carrizal; 2 = saucedas arbustivas; 3 = chopera negra con sauces arbóreos; 4 = olmedas.; 5 = encinar (fuera de la ribera); 6 = quejigar (fuera de la ribera).*

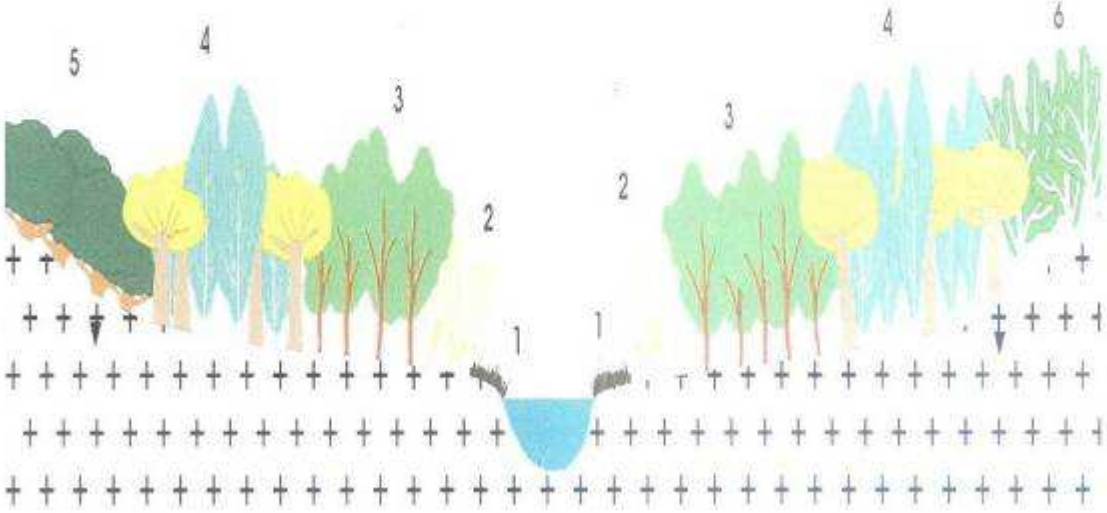

Figura 3. *Catena riparia carpetana. 1 = carrizal; 2 = saucedas arbustivas; 3 = aliseda; 4 = fresneda con chopo negro; 5 = encinar (fuera de la ribera); 6 = melojar (fuera de la ribera).*

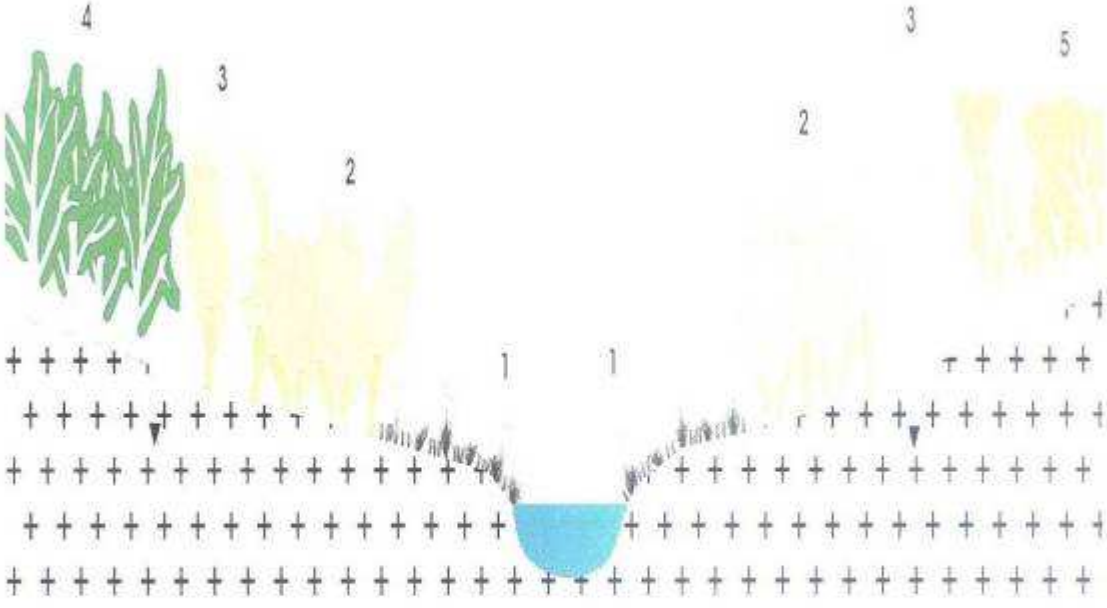

Figura 4. *Catena riparia carpetana (supramediterráneo superior). 1 = comunidades de cárices amacollados; 2 = saucedas arbustivas; 3 = abedular; 4 = melojar (fuera de la ribera); 5 = hayedo (fuera de la ribera).*

En los siguientes apartados describiremos los tipos de vegetación más importantes que podemos distinguir en las riberas de la cuenca del río Henares, indicando su composición florística, estructura, variación, sus relaciones catenales o dinámicas y su grado de conservación o amenaza.

Olmedas

Las olmedas, cuya especie arbórea dominante es *Ulmus minor*, son los bosques caducifolios que sirven de límite entre los bosques de especies de *Quercus*, vegetación climatófila o dependiente únicamente de la precipitación general, y las alamedas y choperas, más cercanas al cauce de los ríos y más dependientes de la humedad proporcionada por la capa freática. Son bosques que, de esta manera, aprovechan aún cierta influencia de la humedad edáfica, siendo verdaderas formaciones de ribera, pero evitan a la vez la mayor parte de los efectos perjudiciales derivados de la mayor frecuencia de inundación y avenida en zonas más próximas al cauce. De manera natural forman o formaron la banda más externa del bosque en galería en las vegas anchas y fondos de valle, faltando en los valles más estrechos, en los que no hay cabida para una diferenciación suficiente del gradiente freático, y también en las zonas más altas de la cuenca donde es sustituido por especies más resistentes al frío. Sin embargo, su capacidad para medrar en el extremo de menor influencia del gradiente freática les capacida para ocupar a menudo pequeños enclaves relativamente alejados de los grandes cauces, como depresiones húmedas, cabeceras de arroyos o entornos influidos por manantiales y fuentes de aguas intermitentes o continuas. Así, por ejemplo, a menudo vemos olmedas que ascienden por las laderas de los valles de la cuenca del Henares, formando pequeñas poblaciones indicadoras de humedad, la cual suele proceder de surgencias que se forman en el punto de contacto entre los escarpes de las calizas del páramo y las margas y arcillas subyacentes, más impermeables.

La olmeda crece sobre materiales tanto de naturaleza ácida como básica, aunque son más fieles a los sustratos calcáreos, a menudo más o menos arenosos, dado su origen aluvial. Los suelos de la olmeda son profundos y ricos en materia orgánica bien descompuesta. Aunque los olmos parece ser que han desarrollado ciertos mecanismos para poder sobrevivir a cortos periodos estivales con falta de agua, como es reducir su superficie foliar para la transpiración, se siguen considerando como un grupo de vegetales caducifolios de óptimo eurosiberiano. La fertilidad del suelo ha propiciado la roturación de estos bosques para la creación de tierras de labor, mientras que su aprovechamiento maderero hasta épocas relativamente recientes, tanto para la construcción como para la fabricación de aperos de labranza, han condicionado la estructura de las masas y el área que ocupan en la actualidad. Así, es muy difícil encontrar retazos de olmeda bien conservados, si bien es frecuente ver pequeñas masas muy desestructuradas orlando las lindes de los huertos y aledaños de las poblaciones. Las afecciones cíclicas sufridas por los olmos, como la grafiosis, producida por el hongo *Ceratocystis ulmi*, así como los ataques de *Galerucella luteola*, insecto que excava y come las hojas de los olmos, han contribuido a una mayor alteración de las masas de olmos en fechas más recientes. El citado hongo, que invade con sus hifas el interior de la madera cegando los vasos conductores por donde circula la savia, ha sido

una causa importante de mortalidad de los olmos en las últimas décadas, siendo la principal causa de que las olmedas estén formadas actualmente sobre todo por árboles jóvenes y deteriorados. Sólo en casos muy concretos y esporádicos encontramos olmedas con árboles grandes y corpulentos. Esta enfermedad ha sido también la causa por la que han desaparecido los grandes olmos u "olmas" que adornaban y daban sombra en las plazas de los pueblos.

Quedan algunos ejemplos de estas olmedas en las vaguadas de los arroyos y ríos menores, no tan alteradas por la agricultura, como en Quer, Villanueva de la Torre, Meco, Marchamalo, o en pequeños barrancos que drenan la margen izquierda del Henares, como en Chiloeches, El Sotillo, Valdenoches, Muduex, Yunquera de Henares o Baides. Nada tienen que ver estas olmedas con las que pudimos conocer, no hace tantos años, en la ermita de Yunquera, margen izquierda del Henares; la del Cañal, entre Fontanar y Guadalajara; desembocadura del Arroyo de la Vega a la altura de Taracena o las que aparecían en distintos puntos del valle del Badiel (Valfermoso de las Monjas, Ledanca, Utande, Muduex, etc.). En términos generales podríamos decir que la presencia de poblaciones jóvenes de olmos, salpicando otras unidades de paisaje, son comunes en los tramos medio e inferior de la cuenca del Henares, y que estas poblaciones nos están indicando la potencialidad del territorio (Foto 2).

En su estado óptimo, las olmedas estarían formadas por masas densas que, cuando se encuentran a mayor altitud y sobre suelos arenosos, pueden compartir el dosel arbóreo con algún fresno. La escasa diversidad arbórea en el estrato superior contrasta con la riqueza específica que conforma la maraña de trepadoras que se entremezcla bajo las copas: *Clematis vitalba*, diversas especies espinosas y volubles de los géneros *Rosa* y *Rubus*, *Lonicera periclymenum*, *Humulus lupulus*, *Bryonia dioica*, *Rubia peregrina*, *Hedera helix*, etc. Estas formaciones lianoides se hacen más espesas en las zonas algo aclaradas, a favor de la mayor luminosidad, o, directamente, como comunidades de sustitución allí donde la olmeda se ha destruido, marcando con su presencia el límite de la influencia freática cuando nos faltan los árboles como elementos de juicio. Por el contrario, en condiciones de sombra extrema disminuye el cortejo de plantas que crece en el sotobosque, incluidas las herbáceas, siempre escasas en olmedas densas bien estructuradas. La destrucción posterior de estos espinares de sustitución suele conllevar la aparición de pastos de diente ricos en gramíneas (*Brachypodium phoenicoides*, *Elymus hispidus*, diversas especies de los géneros: *Bromus*, *Poa*, *Trisetum*, etc.) y leguminosas (*Trifolium*, *Vicia*, *Medicago*, etc.), que proporcionan un lugar idóneo para el sesteo ganadero, principalmente de ganado lanar, en los meses más calurosos del año. Junto a ellos, obedeciendo cambios, a menudo sutiles, en las condiciones bióticas y abióticas del medio, encontraremos un mosaico más o menos complejo de comunidades vegetales bastante variadas. Así, cuando entre estos prados aparecen espacios con suelos removidos, se hacen dominantes las comunidades de cardo de María (*Silybum marianum*, con *Carduus bourgeanus y otros Carduus*); si el agua freática está algo más cerca y no hay un pastoreo muy intenso dominarán los juncales chuerreros de *Scirpus holoschoenus* y *Cirsium monspessulanum;* si aumenta la disponibilidad de nitrógeno y la actividad antrópica podremos observar cicutales (*Conium maculatum*), comunidades de *Alliaria petiolata*, *Myrrhoidis nodosa*, *Viola alba*, *Anthriscus caucalis*, saúco hediondo (*Sambucus ebulus*) u ortigares de *Urtica dicoica*.

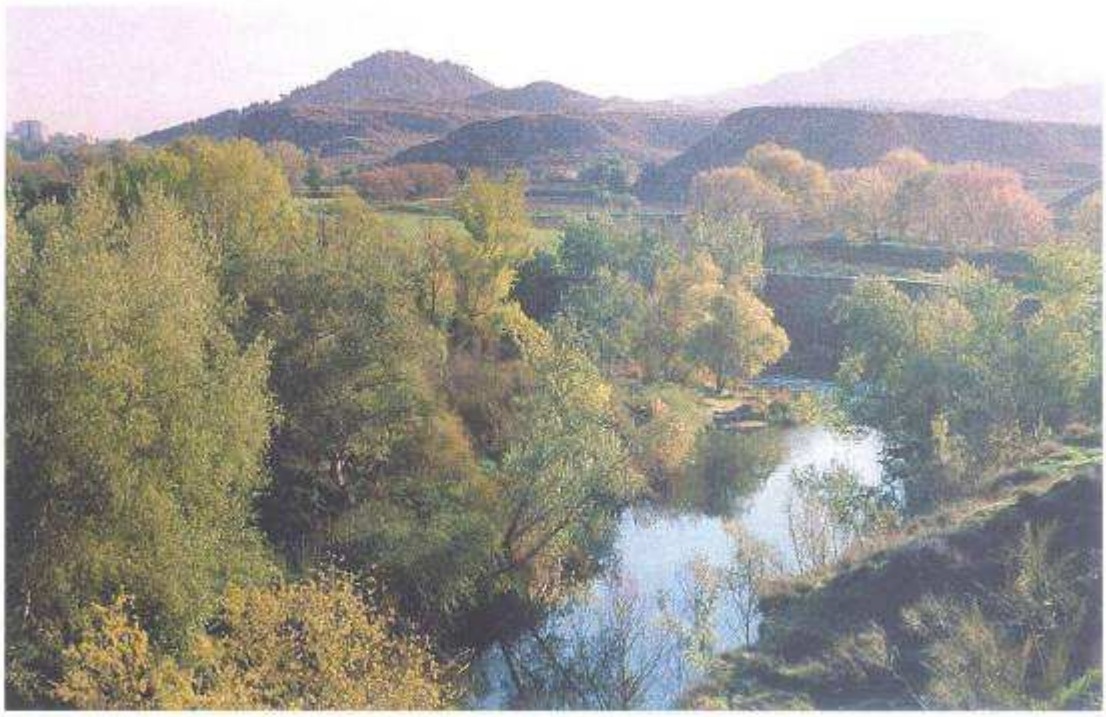

Foto 1. *El río Henares a su paso por Alcalá de Henares (Curva de los García) (foto los autores).*

Foto 2. *Olmeda entre huertas en el desaparecido pueblo de El Atance (foto los autores).*

Todas estas comunidades son abundantes a lo largo del curso del Henares, y no sólo en el dominio de la olmeda, pudiendo considerar al conjunto como indicador de las condiciones ambientales de la ribera.

En todo el territorio, aunque aparece de forma puntual en la cuenca más alta y montana del Sorbe y sus filiales (Sonsaz, Tejera Negra, etc.), merece la pena destacar la presencia de *Ulmus glabra* como elemento acompañante de zonas húmedas dentro de bosques caducifolios. Se trata de un elemento de afinidades eurosiberianas que, sin formar olmedas, resulta raro e interesante, lo que lo hace merecedor de un tratamiento especial dentro la legislación de protección de la naturaleza de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Choperas y Alamedas

Las choperas y alamedas son formaciones arbóreas dominadas por *Populus nigra* (chopo, chopo negro) o *Populus alba* (álamo, álamo blanco) que se sitúan en la catena edáfica entre la olmeda y las saucedas y formaciones leñosas de primera línea de avenida. El predominio de una especie u otra depende de las condiciones ambientales, siendo las características edáficas (textura, estructura, distancia al cauce) y climáticas las responsables de determinar, en espacios con características similares, la especie dominante. *Populus nigra* es más resistente a temperaturas más bajas y su crecimiento óptimo lo tiene en suelos arenosos sueltos, mientras que *Populus alba* es más termófilo y requiere suelos más arcillosos y compactos. Además, el chopo negro resiste mejor el efecto mecánico de las avenidas, razón por la cuál abunda más hacia el cauce en las zonas en las que coexisten ambas especies.

Estas diferencias en sus necesidades ecológicas determinan que, en este territorio, predomine *Populus alba* en el tramo inferior y medio del río Henares (termoclima meso-mediterráneo), generalmente cohabitando con algunos chopos negros en zonas más expuestas a las avenidas. Por el contrario, aguas arriba tan sólo encontramos choperas de *Populus nigra* (termoclima supra-mediterráneo), circunstancia debida tanto a la mayor altitud como al predominio de sustratos de textura gruesa, pero también a la mayor energía cinética de las aguas de cabecera. Las situaciones de bosque mixto más importantes se producen en las desembocaduras de los ríos tributarios del Henares por la derecha. Las últimas masas de alameda blanca aguas arriba del Henares se sitúan en el tramo de río entre Matillas y Baides, si bien existen algunos ejemplares sueltos de la especie en las cabeceras del Henares (río Quinto) y Salado.

Aunque lo más común en el territorio son las choperas y alamedas, merece la pena destacar la presencia local (y de ahí su importancia) de masas densas de álamo temblón *Populus tremula*, o tremolares, que entran en las cabeceras del Alto Sorbe y otros pequeños cursos de montaña, como en Valverde de los Arroyos, Palancares o, en general, en los que recogen agua de la Sierra de Ayllón. Existen otros tremolares, casi con seguridad cultivados, en los anchos valles de la cabecera del Salado (Valdecubo, Sienes) o del Henares (Guijosa, Cubillas) ya en el límite con la provincia de Soria.

Este tipo de vegetación se suele presentar en disposición lineal paralela al cauce con mayor o menor amplitud (anchura) dependiente de la configuración más o menos abierta del valle, dentro de la zona inundable de la vega (Foto 3). Durante la mayor parte del año el suelo permanece húmedo, aunque libre de encharcamiento, siendo formaciones que soportan una mayor intensidad de las avenidas que las olmedas pero mucho menor que las saucedas arbustivas y tarayales de borde de cauce. La regulación actual de los cauces por medio de presas (embalse del Vado y Presa de Beleña, en el Sorbe; embalse de Pálmaces sobre el Cañamares; embalse de Alcorlo en el Bornova; embalse del Atance en el Salado) evita prácticamente las inundaciones con las que este tipo de bosque ha evolucionado.

La textura de los suelos de estos valles aluviales varía desde suelos limosos o arcillosos, de partículas finas, a sustratos de grano más grueso, con arenas y cascajos o con cantos rodados. Tanto en un caso como en otro la incorporación de materia orgánica es un proceso lento que puede durar muchos años debido fundamentalmente a la inestabilidad del sustrato derivada de las frecuentes avenidas. Los suelos más evolucionados presentan un horizonte superficial en el que se acumula la hojarasca, bajo el que se desarrolla un horizonte negruzco donde se mezcla la materia orgánica con la fracción mineral y, casi ya en contacto con la capa freática, un horizonte más profundo, de gley oscuro y maloliente (cieno).

En cualquier caso los horizontes superiores del suelo, aunque variable en función de la textura, presentan buena aireación. A menudo, las avenidas acumulan depósitos de mineral que entierran parcialmente esta estructura subyacente, más madura, dando una coloración superficial distinta en función de la naturaleza de los materiales de arrastre. En los suelos evolucionados suelen aparecer los carpóforos de hongos que micorrizan con chopos y álamos u otros, saprófitos, que aprovechan la abundante materia orgánica: *Lactarius controversus, Tricholoma populinum, Helvella lacunosa, Morchella esculenta*, etc.

Cuando estas choperas no están alteradas por la acción antrópica, se convierten en un bosque caducifolio complejo, donde es posible diferenciar varios estratos: arbóreo, arbustivo, lianoide y herbáceo. Las especies arbóreas dominantes (*Populus alba* o *Populus nigra*) conforman un estrato alto, esbelto y denso en el que se ven acompañadas de otros árboles, como *Salix alba, S. fragilis*, el híbrido entre estos dos (*Salix x neotrichia*) o *Fraxinus angustifolia.* Las especies arbóreas de *Salix* comparten con las demás de su género una gran adaptabilidad a las avenidas, razón por la que, a menudo, las choperas negras son especialmente ricas en *Salix alba*, llegando a formarse saucedas arbóreas puras o casi puras en algunos tramos del Alto Henares.

La alameda blanca, cuando corresponde a un bosque añoso, llega a hacerse bastante umbrosa impidiendo la presencia de un estrato continuo subordinado, pero en la mayoría de las ocasiones la intensa dinámica de estos medios propiciada por las recurrentes avenidas limita la presencia de un dosel demasiado cerrado, lo cuál favorece la existencia de un nivel inferior leñoso rico en majuelos (*Crataegus monogyna*), arce de Montpellier (*Acer monspessulanum*), madreselvas, aligustres, etc. Además suelen crecer especies lianoides que buscan la luz trepando por los troncos de los árboles,

Foto 3. *Ribera del río Henares, con álamo blanco y chopo negro (Humanes) (foto los autores).*

Foto 4. *Choperas negras en la ribera del río Dulce (La Cabrera) (foto los autores).*

Fresnedas

Son bosques mediterráneos dominados por *Fraxinus angustifolia* propios de riberas o suelos húmedos arenosos y generalmente pobres en carbonatos, a diferencia de alamedas y olmedas que prefieren más bien suelos más ricos en bases. Por esta razón, dentro del territorio estudiado se concentran especialmente en la mitad septentrional de la cuenca del Henares (Bornova, Sorbe y sus arroyos tributarios). Su posición en la catena edáfica es semejante a la de las olmedas en suelos básicos, encontrándose más alejadas del cauce que los alisos allí donde las vegas permiten un buen desarrollo de las distintas bandas de vegetación. Al ser menos exigentes en cuanto a la disponibilidad de humedad freática, a menudo se mezclan con los bosques climátofilos colindantes cuando las condiciones edáficas lo permiten (vegas más abiertas, etc.) Además, con cierta regularidad ocupan espacios fuera del ámbito propio de la ribera, en zonas de media ladera o en pequeñas depresiones con suelos aireados, poco arcillosos, formando masas mixtas con *Quercus pyrenaica,* con ejemplos en varias localidades de la Sierra de Ayllón, como en Semillas, Zarzuela de Jadraque, Arroyo de Fraguas, etc. Debido a la utilidad del pasto que crece bajo estas formaciones mixtas, apreciado por el ganado vacuno, o al uso del ramón y la madera, estos bosques han sido transformados en muchas ocasiones en formaciones adehesadas, más o menos abiertas, estructuradas por árboles grandes y corpulentos con una panocha de vástagos jóvenes en la parte superior que se renuevan cada año tras las reiteradas podas.

En la Sierra de Ayllón, debido a la angostura de los valles fluviales, las fresnedas no suelen ser extensas (Foto 5), formando masas mixtas con las especies más propias de la primera línea de los cauces, como *Salix salviifolia* o, en situaciones de mayor altitud, *Frangula alnus, Salix atrocinerea y Erica arborea* (ej. arroyo de La Huerce). Merece la pena destacar las poblaciones de fresno del río Dulce y del Alto Henares en general, sobre suelos arenosos y bien aireados pero relativamente ricos en bases. En este caso aunque el árbol dominante es *Fraxinus angustifolia,* está acompañado de *Populus nigra, Salix alba, Salix x neotrichia, Cornus sanguinea* y especies propias de sustratos al menos neutros.

Un caso excepcional son las poblaciones locales de fresno de hoja ancha (*Fraxinus excelsior*), presentes de forma puntual en las cabeceras del río Sorbe (incluidos Lillas y Sonsaz, en Tejera Negra), especie que tiene su óptimo en el norte de la Península y que se encuentra acompañado en nuestro entorno por especies de claro matiz eurosiberiano, como *Sorbus aucuparia, S. aria, Corylus avellana* y distintas especies de *Erica*; dentro del ámbito que nos ocupa, todas estas especies pueden considerarse raras o de interés especial, por lo que es importante realizar un esfuerzo mayor con respecto a la conservación de estos enclaves.

Como ocurre siempre con los bosques de ribera, las fresnedas y las formaciones mixtas relacionadas ocupan en la actualidad un territorio bastante menor del original ya que han sido destruidas o alteradas por los dragados fluviales, la transformación de terrenos en campos agrícolas, la tala de la vegetación de ribera, el encauzamiento de ríos o las explotaciones de áridos.

Alisedas

Este tipo de bosque, aunque más frecuente en las riberas ibéricas septentrionales, está bien representado en toda la Iberia occidental, desde el nivel del mar hasta los 1700 m de altitud, en territorios con clima submediterráneo y sobre suelos ácidos o pobres en carbonatos. En estas condiciones, el aliso (*Alnus glutinosa*) se sitúa con frecuencia en la primera línea respecto del cauce en ríos y arroyos con caudal continuo, en situación de influencia directa por las inundaciones y avenidas, especialmente en cauces cerrados y en valles angostos, donde suele fomar un bosque en galería en el que las copas de ambas orillas se llegan a tocar. En otras ocasiones puede verse protegido por una banda más externa de sauces arbustivos, en contacto con el cauce, o bien verse acompañado por estas especies de *Salix*, dando lugar a situaciones mixtas.

En cualquier caso, para su óptimo desarrollo las raíces del aliso necesitan estar en contacto permanente con la capa freática, especialmente durante el verano mediterráneo, razón por la que es excluido de arroyos que sufren fuerte estiaje. No obstante, la especie tiene un sistema radicular profundo que le permite captar el agua incluso cuando la capa freática está relativamente lejana. Cabe destacar también la presencia en este árbol de una relación de simbiosis con bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico (*Actinomyces alni* = *Frankia alni*), a las que da cobijo en determinados nódulos de color pardo-amarillento que se forman en las pequeñas raicillas superficiales. Este rasgo es común con otras especies del mundo propias de sustratos ácidos, húmedos y pobres.

En la cuenca del Henares este tipo de vegetación está ligada a los cursos de agua que discurren por el piedemonte del macizo paleozoico de Ayllón, donde las alisedas suelen formar bandas relativamente estrechas, densas y umbrosas, en contacto directo con la vegetación climatófila. Sólo en los valles más abiertos llegan a contactar hacia el exterior del cauce con otras bandas de vegetación freatofítica, generalmente con fresnedas más o menos enriquecidas con chopo. También es posible encontrar pequeñas poblaciones de aliso en surgencias y manantiales ubicados en situaciones de ladera. Entre las alisedas más interesantes del territorio destacamos las ligadas al Sorbe desde su desembocadura en el Henares hasta Valverde de los Arroyos, y las del Bornova (Foto 6), desde Membrillera hasta Hiendelaencina. Una vez que estos ríos tributan sus aguas al Henares, enriqueciéndose en carbonatos, el aliso se convierte en un árbol testimonial que crece de forma esporádica entre los sauces que perfilan el cauce.

Las alisedas son un tipo de bosque singular en la cuenca del Henares que permite la entrada de especies raras en el territorio por su carácter acidófilo eurosiberiano. Entre las especies que merecen especial atención destacamos: *Frangula alnus, Euonymus europaeus, Carex elata* subsp. *reuteriana, Galium broterianum, Glyceria declinata, Oenanthe crocata, Angelica sylvestris, Ranunculus ficaria, Glechoma hederacea,* y un buen número de interesantes musgos y helechos, destacando entre los últimos *Osmunda regalis*, especie legalmente protegida, presente en diferentes puntos de la cuenca del Sorbe. Además, es frecuente la presencia de otros elementos ribereños más comunes, como *Salix salviifolia, S. atrocinerea, Crataegus monogyna, Sambucus nigra* o *Fraxinus angustifolia.*

Foto 5. *Fresneda fragmentaria en la Sierra de Ayllón (foto los autores).*

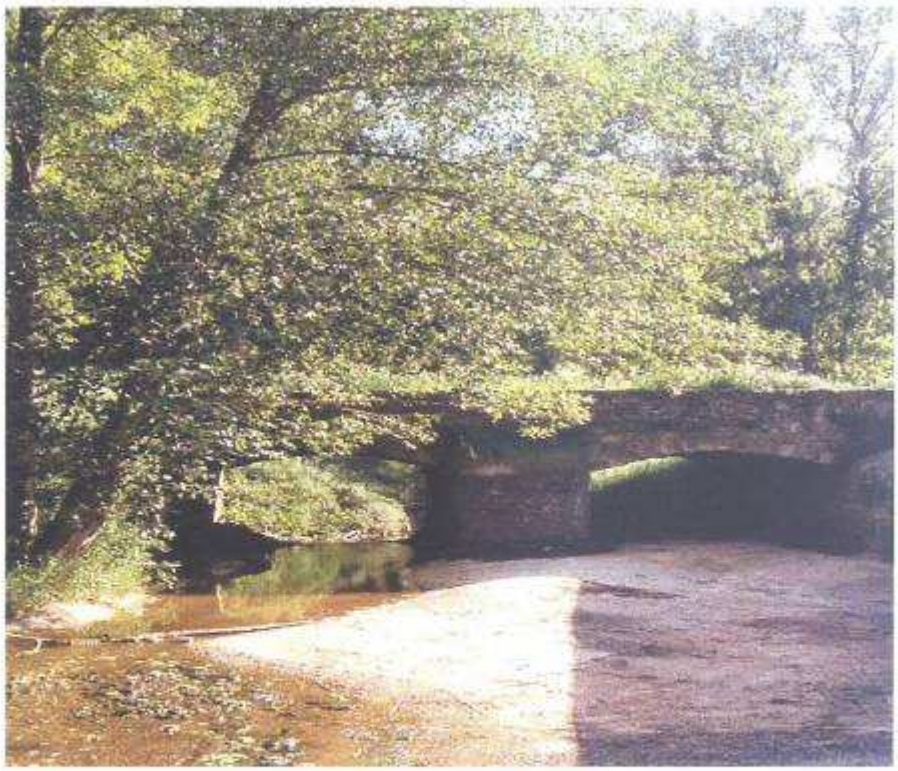

Foto 6. *Aliseda en el río Bornova (San Andrés del Congosto) (foto los autores).*

La construcción de embalses anegando zonas potenciales de aliso (por ejemplo, la proyectada presa del Pozo de los Ramos acabaría con una aliseda que alberga la especie amenazada *Osmunda regalis*), las explotaciones madereras y repoblaciones con chopos llevadas hasta el borde de los cauces, el sobrepastoreo que dificulta la regeneración del aliso y empobrece el cortejo de especies propio de esta comunidad, la presión antrópica en los meses de verano por tratarse de bosques umbrosos visitados por el hombre (como en Muriel) y la contaminación de las aguas, a la que es muy sensible este tipo de bosque, son los problemas más graves que hay que solucionar para la conservación adecuada de las alisedas.

Avellanedas

El avellano (*Corylus avellana*) es un arbusto, sin tronco definido, de carácter eurosiberiano que raramente sobrepasa los cuatro o cinco metros de altura. Ocupa laderas y fondos de barrancos umbrosos y frescos por debajo de los 1500 m de altitud, en climas sin sequía estival y en sustratos sin encharcamiento en su sistema radicular. Tiene su óptimo en la mitad septentrional ibérica, generalmente asociado a tilos, arces, fresnos y robles. Presenta ramas flexibles y gran capacidad de regeneración, con un crecimiento anual muy rápido, especialmente tras la corta a ras del suelo. En distintas comunidades autónomas del ámbito mediterráneo, la especie se encuentra protegida debido a su escasez (Castilla-La Macha, Madrid, Andalucía), generalmente mediante mecanismos de salvaguarda que permiten el uso tradicional.

En la cuenca del Henares, aunque no podemos hablar de verdaderas avellanedas, el avellano está presente de forma natural en las umbrías de Tejera Negra (Cantalojas), y en el Sorbe desde la cabecera hasta Umbralejo, de manera dispersa o formando pequeñas poblaciones, a menudo acompañando a abedules (*Betula alba)* o robles albares (*Quercus petraea)*. Además de estas formaciones naturales, es posible encontrar el avellano como especie naturalizada procedente de antiguas plantaciones (Arroyo de Pozancos, antiguo caz de San Andrés del Congosto, alto Salado cerca de Atienza, etc.) (Foto 7). Estas poblaciones se encuentran ligadas a pequeños cursos de agua, generalmente artificiales (canales para llevar el agua a molinos, acequias de riego, etc.), aunque en la actualidad se mantienen de forma natural. Los avellanos se cultivaban para el aprovechamiento de sus nutritivos frutos debido a su riqueza en aceites, proteínas y azúcares, los cuáles, al igual que las nueces, se pueden almacenar y consumir durante todo el año.

Estos pequeños avellanares naturalizados carecen de un cortejo florístico propio, siendo más bien el avellano el que acompaña a chopos (*Populus nigra*), algún aliso (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*), arces (*Acer monspessulanum)* y un buen número de plantas trepadoras o de las orlas de alisedas y choperas, como *Rubus ulmifolius, Crataegus monogyna, Humulus lupulus, Bryonia dioica, Vitis vinifera* y otras especies comunes. La importancia de las avellanedas radica en su escasez y originalidad en el territorio, siendo interesante el que se tomen medidas para su conservación.

Abedulares

Si bien es difícil imaginar un río o cauce de agua de la media y alta montaña eurosiberiana sin abedul, en la zona que nos ocupa se trata de formaciones relictas que se mantienen en estaciones muy concretas, favorables para su crecimiento desde que las condiciones templado-frías de las glaciaciones cuaternarias desaparecieron de la Península Ibérica.

Los abedulares están ligados, en nuestro caso, a los ríos, arroyos y zonas con hidromorfía edáfica del macizo de Ayllón, en el piso supramediterráneo o en el oromediterráneo inferior, en territorios con abundantes precipitaciones. Más que de abedulares tendríamos que hablar de masas singulares de abedul formando parte del mosaico de comunidades que integran el paisaje de los cauces más altos de la cuenca. Se trata de rodales higrófilos con unas pocas especies propias de estas formaciones, donde el árbol dominante es *Betula alba* (Foto 8).

El abedul es un árbol bastante plástico que se adapta a diferentes situaciones, pero que, en las condiciones del centro de España, prefiere colonizar suelos de textura arenosa o guijarrosa a menudo semiencharcados. La textura del suelo y el grado de humedad, junto con las temperaturas, condicionan que las manchas de abedul se encuentren inmersas, como una pieza más, en un mosaico de comunidades vegetales fáciles de diferenciar por la fisionomía que presentan. Esta heterogeneidad, junto con el resultado de cierto manejo del territorio en las comarcas ganaderas de la sierra, condicionan que a menudo la especie se presente en forma de abedules sueltos entre comunidades de cervuno, brezales higroturbosos, juncales, comunidades de cárices o pequeñas turberas.

Las masas mejor estructuradas llegan a formar pequeños bosquetes dominados por *Betula alba* (acompañado a veces por *Betula pendula* subsp. *fontqueri*), más o menos mezclado con *Salix atrocinerea, S. capraea, Populus tremula, Sorbus aucuparia, S. aria, Ilex aquifolium* o *Taxus baccata*. En general, comparten espacio con saucedas de *Salix atrocinerea,* típicas de las cabeceras.

Las manifestaciones de la especie más interesantes de la Sierra de Ayllón son las ligadas a los arroyos del Berbellido y Veguillas (cuenca alta del Jarama, no en nuestro ámbito de estudio), Sonsaz, barranco de Tejera Negra, Zarzas, Pelagallinas y cauces altos del Cristóbal y del Sorbe.

Debido al carácter relicto de esas poblaciones y a que constituyen un refugio de especies eurosiberianas, desde la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha estos enclaves han sido propuestos como áreas de reserva estricta. Los principales problemas a los que se enfrentan son las repoblaciones forestales, que suplantan esta especie por otras de mayor aporte económico, la construcción de presas, charcas ganaderas, y la extracción de áridos.

Foto 7. *Avellano (Corylus avellana) en el río Bornova (foto los autores).*

Foto 8. *Abedular (Betula alba) en el río Pelagallinas (Condemios de Abajo) (foto los autores).*

Saucedas Arbustivas

En la catena teórica de las riberas, las sucedas, junto con los tarayales (donde se presenten estos), representan la primera banda de vegetación leñosa, en contacto directo con cauce. Por tanto, soportan la mayor frecuencia e intensidad de las avenidas y la mayor recurrencia de los fenómenos de encharcamiento. El tipo de crecimiento que presentan estos vegetales (ausencia de troncos gruesos), con varios brotes de mayor o menor grosor que surgen de un mismo sistema radicular, con gran capacidad de enraizamiento y regeneración vegetativa una vez rotos o arrancados tras las avenidas, nos indican el grado de unión y adaptación que tienen estas especies con respecto al medio en el que crecen.

Las saucedas existen tanto en sustratos silíceos como en suelos ricos en bases y a todas las altitudes de la cuenca. En las vegas mejor estructuradas contactan hacia el exterior del cauce con alisedas, con choperas o con alamedas. La composición específica de estas formaciones depende de la naturaleza del suelo y de la altitud.

Saucedas silicícolas:

En los tramos altos de los cauces de la Sierra de Ayllón, en un clima relativamente frío y en ríos y arroyos sometidos a procesos de estiaje pero no con demasiadas crecidas debido a la pendiente del terreno, crecen saucedas dominadas por *Salix atrocinerea*, al que acompañan en muchas ocasiones distintas especies de matiz eurosiberiano, como *Betula alba, Populus tremula, Sorbus aucuparia, Vaccinium myrtillus, Fragaria vesca, Frangula alnus, Erica arborea,* o como ocurre en el alto Sorbe y Bornova, *Erica scoparia.*

Al descender en altitud los ríos se tornan más caudalosos con lo que las avenidas son más probables e intensas, a la vez que el clima se vuelve más atemperado. En estos tramos medios e inferiores de los ríos serranos, el dosel se enriquece con otras especies de *Salix* como *S. purpurea* y *S. salviifolia*. Este tipo de saucedas se encuentran bien conservadas en los ríos Bornova, Aliendre, Sonsaz, Pelagallinas, Lillas, Quinto y arroyos tributarios (Foto 9).

Una de las saucedas más interesantes por su extensión, su naturalidad y su diversidad florística, es la situada en el río Torote a su paso por el término de Galápagos, en un entorno donde existen graves amenazas por las extracciones de áridos y el fuerte desarrollo urbanístico. Son también de gran interés las saucedas del tramo del Bornova aguas abajo de la presa de Alcorlo, hasta Membrillera. Se trata de saucedas mixtas, más diversas, en las que entran sauces silicícolas mezclados con otros más propios de terrenos básicos: los afloramientos calizos cretácicos situados en el entorno de la presa modifican ligeramente la composición iónica de los suelos silíceos aluviales del tramo, creando las condiciones adecuadas para esta coexistencia. Debido al buen estado de conservación de las diferentes comunidades de ribera de este tramo, sería interesante llevar a cabo una protección conjunta.

Saucedas calcícolas:

Las saucedas calcícolas presentan un aspecto similar a las ya descritas, ocupando una mayor extensión dentro de nuestro territorio debido a la mayor abundancia de los sustratos básicos, pero también a la presencia de vegas más amplias y llanas en las zonas en las que predominan estos materiales, con extensos lechos aluviales, más expuestos al efecto de las crecidas, en los que son frecuentes remansos o meandros semiabandonados que se ven inundados con gran frecuencia. Son formaciones vegetales continuas de primera banda dominadas por *Salix eleagnos* y *S. purpurea*, a los que pueden acompañar otros, como *S. triandra* o *S. fragilis* y, con frecuencia, diversos híbridos entre unos u otros.

Es posible encontrar en algunas zonas concretas del valle del Henares (entorno de Matillas y Cendejas, por ejemplo) mimbreras abandonadas procedentes del cultivo antiguo del mimbre (*Salix viminalis, S. fragilis*) o de la eliminación de especies arbóreas y arbustivas para evitar la competencia y favorecer su expansión. La cestería fue un uso tradicional del territorio hoy inexistente en el Henares, aunque todavía importante en zonas relativamente cercanas (Serranía de Cuenca).

Tarayales

Se trata comunidades arbóreas presentes fundamentalmente en el curso medio y bajo del Henares con algunos pequeños enclaves en las cuencas altas. Se sitúan en suelos de naturaleza básica, a veces incluso algo salinos, en las depresiones o márgenes lacustres de la cuenca miocénica. El rasgo fundamental del taray es su acusada xeromorfia, siendo capaces de soportar el soleado y seco estío mediterráneo del centro de la Meseta, incluso en las zonas más continentales del centro de España. La forma escuamiforme de estas hojas, de pequeño tamaño, es el rasgo adaptativo fundamental en este sentido (Foto 10). Ocupan suelos aluviales, en la primera banda de exposición a las avenidas, formando a menudo doseles discontinuos como consecuencia de la intensidad de la embestida de las aguas.

En esas circunstancias de cobertura parcial, el sustrato se calienta fuertemente durante el verano generando unas condiciones de aridez acusadas, lo cuál proporciona ventaja al tarayal frente a la sauceda, a la que pueden sustituir total o parcialmente en las zonas más bajas y cálidas de la cuenca. En todo lo demás las adaptaciones del taray son semejantes a las de los sauces, destacando por ejemplo la gran capacidad de regeneración vegetativa por brotes de cepa y de raíz. Sin embargo, a pesar de esta capacidad de resistencia a las avenidas compartida con las especies de *Salix*, cuando coinciden geográficamente tarajes y sauces la capacidad de los primeros para soportar intensos periodos de sequía permite que sus formaciones se sitúen algo más alejadas del cauce. El equilibrio dinámico entre estas dos formaciones es muy delicado, y es probable que en tramos fluviales muy regulados, como puede ser en la parte baja del Henares, la situación original haya sido distinta a la de hoy día.

Foto 9. *Saucedas arbustivas (Salix purpurea, S. salviifolia) en el río Quinto (Guijosa) (foto los autores).*

Foto 10. *Tarayales subhalófilos en el arroyo de Alcolea (Cercadillo) (foto los autores).*

La comunidad de tarajes puede presentarse de forma natural en aspectos más o menos aclarados en los lugares más inestables y cercanos al cauce, pero llega a hacerse bastante densa y sombría en situaciones más resguardadas (Foto 10). Estos tarayales espesos son pequeños bosquetes de unos pocos metros de estatura, algo fantasmagóricos por la tortuosidad de los troncos, la cual confiere al ambiente umbroso una estética particularmente atractiva. En ellos suelen vegetar plantas resistentes a la sombra, a menudo también algo nitrófilas y dependientes de los aportes de limos, como *Urtica dioica, Conium maculatum, Galium aparine, Torilis nodosa, especies de Geranium*, etc.

Encontramos tres especies de taray en la cuenca. *Tamarix gallica* y *T. africana* (éste de menor porte) son comunes en la cuenca baja del Henares; podemos observar buenas muestras de este tipo de vegetación en Guadalajara, Alcalá, San Fernando, Torrejón de Ardoz, en la desembocadura del río Torote y en la del Henares en el Jarama. *Tamarix canariensis* es una especie de distribución mucho más restringida en nuestro territorio, con óptimo en nuestro país en los humedales manchegos y con cierta preferencia por sustratos algo salinos, por lo que forma pequeñas masas residuales en la cuenca del Salado (siendo la más importante la del arroyo de Alcolea, en Cercadillo).

Los problemas que afectan a esta singular vegetación tan característicamente mediterránea son en principio comunes con otros bosques de ribera, aunque a este tipo de bosque le afecta de forma esencial la alteración del régimen natural de los cauces (represamientos de cabecera y modificación de la duración de los periodos de estiaje). Las mejores masas deberían ser preservadas por sus indudables valores naturalísticos, biogeográficos, y aún estéticos.

Carrizales, Cañaverales y Masegares

Los carrizales, cañaverales y masegares constituyen en su conjunto otro gran tipo de formación vegetal típicamente ligada a los cursos de aguas. En este caso nos encontramos ante comunidades que ya se hallan en contacto directo con el agua, hacia el lado del río en el gradiente de la ribera. El carrizo (*Phragmites australis*) es la especie dominante habitual, formando comunidades helofíticas (anfibias) que enraizan dentro del cauce, haciendo asomar sus cañas sobre la superficie de las aguas: si bien la parte inferior del tallo y las raíces pueden permanecer bajo el agua, sus inflorescencias necesitan el aire para dispersar el polen (Foto 11).

En estas situaciones anfibias, el carrizo se mezcla con un buen número de especies helofíticas que añaden diversidad a este biotopo, entre las que destacan las distintas especies de enea (*Typha*), así como *Lythrum salicaria, Lycopus europaeus, Scirpus lacustris, Epilobium hirsutum, Iris pseudacorus*, etc. Es notable la presencia de otra caña, *Arundo donax*, sobre todo en las zonas bajas de la cuenca, a menudo procedente de viejos cultivos destinados a la construcción de techos y enseres agrícolas. Los mejores carrizales y cañaverales crecen en las vegas amplias y arcillosas en situaciones de aguas algo remansadas, sobre todo en la cuenca baja del Henares, en los afluentes por la izquierda y en el tramo inferior del Torote, de sustratos margosos.

Sobre sustratos ricos en calcio en las orillas de algunas lagunas, como es el caso de la laguna cárstica de Somolinos, situada a unos pocos metros del nacimiento del Bornova, aparecen interesantes poblaciones de *Cladium mariscus* (masiega) rodeando la superficie lagunar. Estos masegares se ven acompañados por una serie de cárices de gran importancia biogeográfica, como *Carex hispida* y *C. riparia*, además de llevar otros elementos comunes en estos ambientes, como *Lythrum salicaria* y *Lycopus europaeus*.

La importancia de este enclave radica en que esta localidad es la única para la masiega y para estas raras especies en un territorio tan amplio como el considerado. Se trata de un tipo de vegetación aún más exigente con respecto a la estabilidad del nivel hídrico que los carrizales y cañaverales, por lo que cualquier mínima alteración en ese sentido puede producir efectos muy negativos. Conviene destacar que los carrizales y las comunidades afines resultan imprescindibles como hábitat para un buen número de animales acuáticos, entre ellos diversas aves que utilizan estos medios como lugar de alimentación, cría, descanso o refugio. La eliminación de estas masas vegetales influye directamente tanto en la disminución del número de especies que habitan estos medios como del número de individuos que conforman sus poblaciones.

Carrizos, cañas y eneas son plantas aprovechadas desde antiguo por el hombre para diversas utilidades, desde la confección de urdimbres sobre las que soportar las tejas en el caso de carrizos y cañas, hasta, en el caso de la enea, la fabricación de esteras, cuévanos para la recolección (al igual que el mimbre) o asientos para sillas, un aprovechamiento que en la actualidad ha caído en desuso. Además del resto de los problemas comunes a otras formaciones de ribera, carrizales y masegares son comunidades muy sensibles a actuaciones que modifiquen los niveles hídricos, como canalizaciones, drenajes, encauzamientos, etc.

Comunidades de Carices Amacollados

Se trata de comunidades de especies del género *Carex* que forman cepellones almohadillados característicos en determinados medios acuáticos de la cuenca del Henares, pudiendo sustituir a carrizales y otras comunidades helofíticas allí donde estas no llegan (especialmente en las cabeceras silíceas). Resultan dignas de destacar por el interés biogeográfico de las especies que las conforman (Foto 12).

Las especies del género *Carex* que conforman estas comunidades son diversas, produciéndose una segregación específica en función de la naturaleza, temperatura, nivel y velocidad del agua o de la composición litológica del sustrato. Así, las aguas finas y frías de los lechos rocosos silíceos de las cabeceras de los ríos procedentes de la Sierra de Ayllón (Lillas, Zarzas, arroyo Cristóbal, cabecera del Sorbe y Bornova, etc.) están dominados por *Carex elata* subsp. *reuteriana*, taxon de óptimo occidental en la Península que encuentra en estas manifestaciones algunas de sus poblaciones más orientales, al que acompañan de *Galium broterianum, Oenanthe crocata* o *Mentha arvensis*, junto con un buen número de especies singulares de óptimo eurosiberiano.

Foto 11. *Carrizal en el alto Henares (Moratilla de Henares) (foto los autores).*

Foto 12. *Comunidades de carices amacollados en la cuenca alta del río Salado (Atienza) (foto los autores).*

En los ámbitos encharcados de la sierra, como es el caso de laguna de Somolinos, donde afloran materiales de naturaleza básica, aguas de flujo lento y condiciones climáticas algo diferentes, aparecen formaciones de cárices algo distintas, dominadas por *Carex riparia, C. acutiformis* y *C. paniculata*, con especies tan interesantes como *Galium palustre* u *Ophioglosum vulgatum*, a los que acompañan *Carex vesicaria* o *C. tomentosa*, citas botánicas interesantes para la provincia de Guadalajara.

Carex elata subsp. *elata* aparece en el Henares, en aguas duras, en comunidades de ribera no amacolladas en las que que dominan otras especies, como pueden ser las megaforbias presentes en los cañaverales: *Lysimachia vulgaris, Lythrum salicaria, Lycopus europaeus, Mentha acuatica, Eupatorium cannabinum*. Aunque este tipo de comunidad es bastante común en la cuenca del Henares, merece la pena que destaquemos la riqueza y buena conservación de algunos ejemplos situados aguas debajo de la presa de Pálmaces, en el río Cañamares. Como es de suponer son comunidades sensibles a los procesos de limpieza llevados a cabo en los bordes de los cauces, afectándoles la presión ganadera (sesteos y bebederos).

Espinares, Zarzales y Comunidades Lianoides

En los lugares donde los bosques del complejo en galería han sido aclarados o incluso destruidos, pero también en los claros que se producen debido a la dinámica natural de la ribera, aparecen comunidades de sustitución caracterizadas por su gran exuberancia y densidad, consecuencia de los incrementos de iluminación y de la productividad intrínseca del medio ribereño. Son comunidades lujuriantes, a menudo densas e impenetrables, donde abundan especies con tallos escandentes, trepadores, que utilizan diferentes mecanismos para sujetarse a los árboles y otros soportes, como las raíces adventicias de *Hedera helix* o los pequeños garfios de los *Rubus*, para así recibir luz suficiente con la que realizar la fotosíntesis de forma eficiente. Son formaciones comunes en toda la catena ribereña, desde las olmedas, fresnedas y choperas hasta las saucedas y alisedas. La composición florística varía en función de la inundación, granulometría del suelo y temperatura del territorio. Las especies más abundantes son: *Rubus ulmifolius, R. caesius, Hedera helix,* diversas especies del género *Rosa, Crataegus monogyna, Prunus spinossa, Humulus lupulus, Calystegia sepium, Cynanchum acutum, Bryonia dioica, Lonicera peryclimenum, L. etrusca,* etc. En los tramos altos del Henares y en varios de sus afluentes del tramo medio y alto de la cuenca estas comunidades se enriquecen con especies interesantes como *Cornus sanguinea, Ligustrum vulgare* o, puntualmente, *Viburnum lantana.*

Muchas de estas especies son de vital importancia para las aves que frecuentan estos ambientes ya que la presencia de frutos de colores vivos, vistosos, ricos en aceites y de maduración principalmente otoñal (Foto 13), resultan fundamentales para la alimentación de las especies sedentarias durante el invierno, pero también para las aves que, en paso, recorren nuestros valles en dirección al sur tras atravesar los puertos de las sierras. Como suele ocurrir, la mayor exuberancia de estas comunidades se produce en los tramos bajos de los ríos, más productivos, en este caso especialmente en el río

Henares y la parte baja de sus afluentes más grandes (Sorbe, Bornova, Dulce, etc.). Se trata de una vegetación secundaria que carece de problemas de conservación, salvo, en general, en aquellos enclaves ligados a situaciones dinámicas naturales, en los que los ecosistemas en su conjunto suelen estar bien estructurados, mereciendo entonces la conservación en su conjunto.

Pastos y Otras Comunidades Herbáceas

Este grupo, en realidad, es un grupo complejo y diverso constituido por comunidades con diferentes estrategias de crecimiento y distintas especializaciones en cuanto a requerimientos hídricos, pero también, característicamente, con mayor o menor apetencia por la presencia de materias nitrogenadas en el sustrato, procedentes de los aportes naturales de las avenidas, pero también de la existencia de procesos contaminantes o derivados en general de la acción del hombre o sus animales. Vamos a resumir este complejo de una forma simplificada, señalando sólo aquellos grupos más comunes en la cuenca del Henares.

Los pastos y praderas propios del medio ribereño, cuando la nitrificación no es notable y cuando los aportes hídricos son casi exclusivamente freáticos (sin encharcamiento habitual), suelen estar dominados por *Elymus hispidus* o *Brachypodium phoenicoides*, dos gramíneas muy abundantes en toda la cuenca pero especialmente en los terrenos de naturaleza básica o en los sustratos algo más pesados. Suelen formar prados extensos a la sombra parcial de los árboles de la ribera. Una variante es el juncal churrero, de *Scirpus holoschoenus*, en condiciones hídricas semejantes o algo más exigentes, con una capa freática más cercana, pero ya con cierta influencia del abono de los animales o del manejo humano. Un tipo de comunidades interesantes que suele ocupar pequeños claros o zonas semisombreadas en situaciones aún claramente forestales, esto es sobre suelos profundos y ricos en humus, son las llamadas comunidades de megaforbias o de grandes herbáceas de tallo grueso. Estos herbazales, muy heterogéneos a lo largo de toda la cuenca, pueden componerse de una mezcla variable de *Myrrhoides nodosa, Alliaria petiolata, Lapsana communis, Urtica dioca, Lamium maculatum, Silene latifolia, Smyrnium perfoliatum,* etc. En varios puntos de las regiones más septentrionales de nuestro territorio (sierra de Ayllón) la composición se enriquece y se hace más interesante, con elementos eurosiberianos como *Filipendula ulmaria, Angelica sylvestris, Eupatorium cannabinum,* etc.

Volviendo a los pastos, si nos situamos en contacto con el cauce, es decir, en condiciones de inundación frecuente y con aportes frecuentes de nutrientes derivados de los limos transportados por las aguas, se desarrollan pastos anfibios característicos dominados por gramíneas nitrófilas perennes. Por sus requerimientos nutritivos, estos pastos suelen estar ausentes en las alisedas y, en general, en los cauces de aguas finas, siendo más abundantes en la porción miocena de la cuenca, de sustratos predominantemente margosos. Por tanto, crecen generalmente asociados a saucedas y tarayales. Ocupan sustratos limosos o fangosos compactos, húmedos durante todo el año e inundados durante los periodos de crecida. Sin embargo la renovación de lodos no ocurre con una frecuencia anual, dependiendo de la intensidad variable de las crecidas,

lo cual permite el establecimiento de una vegetación persistente, perenne, de tipo rizomatoso y el establecimiento de un pasto continuo y denso. Son prados siempreverdes de escaso porte que nos suelen indicar el nivel más generalizado del caudal, marcando su límite, siendo su composición casi monoespecífica, dominada habitualmente por la gramínea rastrera *Paspalum paspalodes*. En realidad, todos los prados húmedos de la ribera resultan apetecidos por el ganado ovino durante la época estival, y cuando esto sucede suele aumentar la proporción de especies adaptadas al pisoteo y al abono procedente de ganado, como por ejemplo la grama *Cynodon dactylon* o especies de trébol y otras leguminosas, como *Trifolium repens, T. pratense*, etc.

En situaciones cercanas a la de los pastos de *Paspalum* o *Cynodon*, pero cuando la deposición de fangos es mayor, por ejemplo en pequeñas oquedades de los lechos o en entrantes de las orillas, que atrapan mejor los depósitos de las aguas, la comunidad herbácea cambia. Estos medios, que se quedan libres de agua durante el estiaje, permiten crecer un tipo de vegetación que soporta suelos húmedos permanentemente renovados, luego inestables, pero, en contrapartida, ricos en nutrientes debido a la descomposición orgánica, frecuentemente anaerobia en estas circunstancias. Estos medios particulares, más frecuentes en tramos remansados o de corriente lenta, son colonizados por especies pioneras y de ciclo rápido, anual, que necesitan un aporte considerable de nutrientes para su rápido crecimiento. Son comunidades que forman manchas densas, de porte mediano, frondosas, con tallos jugosos y hojas relativamente grandes, dominadas por poligonáceas, quenopodiáceas y compuestas (Foto 13). Las especies más habituales son: *Polygonum persicaria, P. lapathifolium, P. hydropiper, Rumex palustris, especies de Chenopodium, Xanthium spinosum, X. strumarium, Bidens tripartita, B. aurea*, etc. Este tipo de vegetación está muy bien representada en el tramo inferior de los ríos Henares y Torote y es un medio muy rico en invertebrados, muy atractivo por ello para muchas especies de aves.

Foto 13. *En la parte izquierda se presentan espinares dominados por Rosa canina en la cuenca alta del Henares (Mojares), y en la parte derecha se presentan comunidades de Polygonum persicaria en el río Henares (Cutamilla) (fotos los autores).*

Existen otras muchas comunidades herbáceas en las riberas, siendo las descritas las más frecuentes o las que forman manifestaciones de mayor entidad. La descripción de todo este conjunto heterogéneo sería excesiva en un texto como éste, por lo que recomendamos al lector que se encamine a la bibliografía especializada en el caso de que quiera profundizar en su conocimiento.

Medidas para la Conservación de la Vegetación de Ribera

La vegetación de las riberas de buena parte de la España mediterránea ha sido agredida desde tiempos históricos por coincidir en su distribución con los lugares de asentamiento preferente para la agricultura y para otras actividades humanas. A pesar de ello, en la cuenca del río Henares es posible encontrar todavía buenas manifestaciones del complejo ripario, tal y como hemos descrito anteriormente. Las mayores amenazas que, en su conjunto, caen en el momento actual sobre la vegetación de ribera, son las siguientes:

- Talas, entresacas y "limpieza de marañas".

- Encauzamientos y dragados injustificados y modificación de los perfiles topográficos.

- Inundación y destrucción directa por construcción de embalses.

- Modificación de los niveles hídricos y freáticos (dragados, embalsamientos, áridos).

- Extracción de áridos.

- Contaminación acuática.

- Ocupación urbanística o por infraestructuras.

- Uso recreativo intensivo, basuras, etc.

Entre las medidas que podemos sugerir para la conservación, mejora o, en su caso, restauración de estos ecosistemas, citamos las siguientes:

- Creación de figuras de protección (reservas fluviales, etc.) que regulen de manera estricta los usos en enclaves de alto valor ecológico y científico.

- Sería de gran interés la integración de la mayor parte de los ecosistemas ribereños de la cuenca a la red Natura 2000: el carácter de corredor y de flujo del ecosistema fluvial para el trasiego de flora y fauna, especialmente en nuestra cuenca, vía preferente de unión entre la Meseta y el Valle del Ebro, encaja especialmente bien en el espíritu y el objetivo de Natura 2000.

- Delimitación del dominio público hidráulico y ampliación de éste y de la zona de policía. Limitar el alcance de la agricultura e impedir la ocupación urbanística o la instalación de infraestructuras en estas zonas libres de ocupación, que deberían ser amplias.

- En general, sería deseable y factible la prohibición de cualquier tipo de actuación que con lleve destrucción total o parcial de las masas vegetales actualmente existentes u otro tipo de manejo en comunidades que habitan bajo su dosel. La ribera es un ecosistema suficientemente escaso para ser considerado como interesante en su conjunto sin que la afección de estas limitaciones sobre la economía del territorio se vea afectada significativamente.

- En particular, habría que limitar los habituales dragados y encauzamientos, que resultan destructivos para la vegetación sin una contrapartida beneficiosa obvia, salvo en casos muy concretos.

- En su lugar, al igual que se hace ya en otros países de nuestro entorno, potenciar el desarrollo estructural de la vegetación leñosa de ribera y del bosque en galería que, por sí solo, favorece el mantenimiento del cauce en buenas condiciones hidráulicas al proporcionar condiciones de sombra que limitan el crecimiento de la vegetación de menor porte. Este objetivo debe perseguirse con tanta mayor intensidad cuanto más subamos en las cuencas y más estrechos sean los cauces ya que el efecto proporcional de este tipo de actuaciones perniciosas se hace mayor.

- Restauración y mejora del ecosistema de ribera. Favorecer la dinámica natural, de por sí bastante rápida en estos medios, permitiendo la instalación de vegetación espontánea en los territorios de ribera convenientemente delimitados. En caso de querer intentar la revegetación en zonas muy degradadas, utilizar exclusivamente fuentes genéticas locales, si puede ser de la misma localidad a restaurar. La restauración deberá regenerar la estructura de la vegetación natural, incluida su variación en el gradiente edáfico del territorio.

- Depuración de todas las aguas residuales, de cualquier procedencia, que viertan en la cuenca. En el caso de la contaminación agrícola, derivada sobre todo de fertilizantes, la única medida posible que no pase por un cambio drástico de los usos agrícolas podría ser la ampliación de la zona de protección de la ribera libre de agricultura.

- Evaluación de los niveles freáticos y de su variación en toda la cuenca, incluido el estudio de la relación cuantitativa entre niveles freáticos y tipos de vegetación. Evitar en lo posible la afección a la dinámica freática natural y, en todo caso, realizar el seguimiento desde este punto de vista de los efectos de cualquier infraestructura que se ejecute y que tenga la potencialidad de alterar estos equilibrios.

- Mantenimiento estricto de los caudales ecológicos en las subcuencas reguladas, los cuáles deben ser concebidos de manera generosa, y seguimiento de los efectos de la regulación sobre la comunidad de ribera aguas abajo de las presas.

- En las explotaciones de áridos, evitar la extracción por debajo del nivel freático y realizar una adecuada restauración tras la explotación de cada tramo. Las nuevas explotaciones deberían establecerse a una distancia prudencial de la ribera y suficientemente alejadas de las capas freáticas.

- En el caso de graveras que hayan afectado ya a la capa freática, lo indicado es rellenar el hueco restaurando la topografía original, pero cuidando el material de relleno, en particular no permitiendo el uso de escombros o materiales contaminados. Se puede realizar una transformación en humedal somero una vez considerado el efecto de las nuevas condiciones topográficas en la dinámica fluvial y sólo si se constata que tal efecto es inapreciable. La restauración de graveras deberá seguir los mismos criterios generales que cualquier otra restauración: básicamente potenciar el proceso de manera natural (en este caso, creando perfiles topográficos suaves) y emplear fuentes genéticas locales en su caso.

- Limitar las obras de contención de avenidas, diques y otras, a los casos estrictamente necesarios; permitir la expansión natural de la inundación allí donde el uso humano sea compatible y, en todo caso, dentro de la zona de ribera convenientemente delimitada. La mejor política en este caso es impedir la ocupación para evitar problemas futuros.

- En muchos puntos de la cuenca se puede aspirar incluso a favorecer el reestablecimiento del lecho de avenida perdido mediante la eliminación de determinadas barreras artificiales que han dejado de ser útiles en el momento actual.

- Correcta y concienzuda planificación de las necesidades hídricas de la población ribereña de la cuenca, especialmente en las zonas de mayor crecimiento urbanístico del tramo bajo. Esta planificación debe desembocar en el fomento de medidas de ahorro hídrico a todos los niveles y, sobre todo, en políticas activas de limitación del crecimiento urbanístico que establezcan de manera precisa cuál es el tamaño de la población soportable en la cuenca, minimizando en todo caso la construcción de nuevas infraestructuras hidráulicas (se trata ya de una de las cuencas más reguladas y embalsadas de nuestro entorno). Podríamos decir que esta medida, compleja y difícil de llevar a cabo salvo que se tenga una firme voluntad política, sería la más importante si queremos preservar nuestros ecosistemas ribereños a medio o largo plazo.

Bibliografía Recomendada

Bartolomé Esteban C., Rejos Ballesteros F.J., Álvarez Jiménez J. 2002. Flora y Vegetación de la Baja Alcarria de Guadalajara. Ediciones Unión FENOSA, Madrid.

Bartolomé Esteban C, Álvarez Jiménez J., Vaquero J., Costa M., Casermeiro M.A., Giraldo J., Zamora J. 2005. *Los Tipos de Hábitat de Interés Comunitario de España.* Ediciones Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad, Madrid.

Blanco Castro E., Casado González M.A., Costa Tenorio M. y col. 1997. Los Bosques Ibéricos. Una Interpretación Geobotánica. Ediciones Planeta, Barcelona.

Cirujano S., Medina L. 2002. Plantas Acuáticas de las Lagunas y Humedales de Castilla-La Mancha. Real Jardín Botánico (CSIC) y Junta de Comunidades Castilla-La Mancha, Madrid.

Izco J. 1984. Madrid Verde. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, y Comunidad de Madrid, Madrid.

Lopez González G. 2001. Los Árboles y Arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Martín Herrero J., Cirujano Bracamonte S., Moreno Pérez M., Bautista Peris Gisbert j., Stübing Martínez G. 2003. La Vegetación Protegida en Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Servicio de Publicaciones, Toledo.

Peinado Lorca M., Martínez Parras J.M. 1985. El Paisaje Vegetal de Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, Servicio de Publicaciones, Toledo.

Ríos Ruiz S., Alcaraz Ariza F., Valdés Franzi A. 2003. Vegetación de los Sotos y Riberas de la Provincia de Albacete (España). Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel", Diputación de Albacete, serie 1, número148.

IV. ORGANISMOS DESCOMPONEDORES Y FOTOSINTÉTICOS DEL MEDIO ACUÁTICO

Julio A. Camargo[1], Marcos de la Puente[2] y Álvaro Alonso[3]

[1]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá
[2]Liquen, Consultoría Ambiental, Madrid
[3]Departamento de Medio Ambiente, INIA

Introducción

Según el registro fósil, los primeros organismos que aparecieron sobre la Tierra fueron las bacterias, hace al menos 3.500 millones de años en el medio acuático. Las bacterias constituyen el reino de las móneras, caracterizado por la organización simple de célula procarionte (sin núcleo diferenciado ni orgánulos intracelulares). Estos microorganismos, con tamaños que varían generalmente entre 0,5 y 10 micras, se reproducen de forma asexual por simple división celular, mostrando tiempos generacionales muy cortos (normalmente entre 30 y 120 minutos).

Aunque se han descrito más de 5.000 especies, la diversidad real de los procariotas sería mucho mayor debido a su gran capacidad de adaptación y diversificación. No obstante, el concepto de especie no siempre es fácil de aplicar a estos microorganismos. Hoy día se reconocen dos grandes divisiones o líneas evolutivas: arqueobacterias que habitan ambientes de condiciones extremas, semejantes a los que pudieron existir en el planeta primitivo, y eubacterias que agrupa a la mayor parte de los procariotas conocidos.

A diferencia de las bacterias, los hongos son organismos eucariontes que tienen una organización celular mucho más compleja. Además presentan una pared celular rica en quitina y la gran mayoría son pluricelulares, formando micelios de filamentos muy ramificados (las hifas) que generalmente tienen una condición haploide. Aunque su origen evolutivo es incierto, parece que pudieron desarrollarse en el medio acuático a partir de protistas ameboflagelados hace unos 900 millones de años. Los hongos se reproducen asexual y sexualmente: en la fase asexual mediante la fragmentación del micelio o por la producción de esporas; en la fase sexual mediante la formación de gametangios que producen células sexuales.

Hoy día se conocen más de 75.000 especies de hongos que se clasifican en cuatro clases o grupos principales: ascomicetos (con ascosporas sexuales dispuestas en grupos de ocho y contenidas en el interior de unas bolsitas denominadas ascas), basidiomicetos (con basidiosporas sexuales dispuestas en grupos de cuatro dentro de unas estructuras denominadas basidios), deuteromicetos (u hongos imperfectos por no

tener o conocerse la fase sexual), y zigomicetos (con estructuras sexuales de resistencia que producen zigosporas). Existen además organismos que tradicionalmente se han clasificado dentro del reino de los hongos (como hongos inferiores) por ser saprofitos y desarrollar estructuras miceliales, pero que un análisis detallado de su organización celular y ciclo de vida muestra que probablemente no lo son. Así, por ejemplo, tenemos el grupo de los actinomicetos que son procariontes (actinobacterias), y el grupo de los oomicetos que, aunque eucariontes, presentan una pared celular rica en celulosa y producen esporas con dos flagelos (zoosporas). El grupo de los quitridiomicetos, aunque con quitina en su pared celular, se ha emparentado a menudo con los oomicetos por producir esporas flageladas.

La función más importante que bacterias y hongos llevan a cabo en los ecosistemas naturales es la descomposición enzimática de la materia orgánica, proveniente de los organismos muertos y de las excreciones de los organismos vivos, en compuestos mucho más simples como son los nutrientes de carbono (CO_2), fósforo (PO_4^{3-}), nitrógeno (NH_4^+, NO_3^-) y azufre (H_2S, SO_4^{2-}), que luego serán reutilizados por otros organismos, en particular por los organismos fotosintéticos. Bacterias y hongos son, en consecuencia, fundamentales para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta, desempeñando un papel de primera magnitud en el reciclaje de la materia orgánica a través de los ciclos biogeoquímicos. Además, como microorganismos descomponedores, forman parte del detrito orgánico que es usado por los detritívoros.

Por otro lado, los organismos fotosintéticos son aquellos que pueden usar la energía luminosa para sintetizar compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono ($CO_2 + 2H_2X \rightarrow CH_2O + H_2O + 2X$). La capacidad de realizar la fotosíntesis parece que pudo desarrollarse en bacterias acuáticas hace unos 3.000 millones de años, primero usando moléculas de H_2S como fuente de electrones e hidrógeno para fijar moléculas de CO_2, y posteriormente usando moléculas de H_2O en cianobacterias primitivas hace al menos 2.500 millones de años. Este último cambio dio lugar a una liberación ingente de O_2 durante millones de años, saturando los ecosistemas acuáticos de oxígeno disuelto y transformando la atmósfera terrestre hacia un estado mucho más oxidante. Todo ello posibilitó el desarrollo evolutivo de la respiración aerobia y de organismos más complejos con un tamaño mayor.

Algas y plantas son los organismos fotosintéticos por excelencia. Contienen clorofila *a* como principal pigmento fotosintético, el cual les confiere su color verde característico. Las algas eucarióticas pudieron evolucionar a partir de primitivos procariotas simbiontes hace unos 1.800 millones de años. Tuvo que transcurrir un extenso periodo de tiempo para que, partiendo de ancestros acuáticos pertenecientes al grupo de las algas clorofíceas, pudieran desarrollarse plantas multicelulares que colonizaron el medio terrestre hace al menos 400 millones de años: por un lado los primeros briofitos (hepáticas, musgos), y por otro lado las primeras plantas vasculares. Y dentro de este grupo, las primeras en evolucionar y diferenciarse fueron las plantas sin semillas, como los pteridofitos (helechos), apareciendo posteriormente las plantas con semillas que dieron lugar a la evolución de las gimnospermas (plantas sin flores) y las angiospermas (plantas con flores). Adaptaciones posteriores al medio acuático posibilitaron el desarrollo evolutivo de las plantas acuáticas que hoy día conocemos.

Bacterias

Muchos grupos de bacterias poseen representantes tanto en el medio terrestre como en el medio acuático. Aunque podemos encontrar miles de bacterias por cm^3 en las aguas de lagos, lagunas, ríos, embalses, charcas, marismas, estuarios, mares y océanos (el bacterioplancton), la mayor abundancia de ellas suele encontrarse en la superficie de los sedimentos. Y es en este hábitat bentónico, principalmente, donde las bacterias llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, contribuyendo de manera relevante a la capacidad auto-depuradora de los ecosistemas acuáticos.

La descomposición de la materia orgánica es realizada primeramente por bacterias aerobias, dando lugar a situaciones de déficit de oxígeno disuelto (hipoxia o anoxia) cuando la carga orgánica es excesiva y el oxígeno consumido no es repuesto de manera suficiente, bien por la turbulencia y mezcla de las aguas o por los organismos autótrofos fotosintéticos. De hecho, un buen indicador de actividad bacteriana e, indirectamente, de contaminación orgánica es la disminución significativa de la concentración de oxígeno disuelto. Gran cantidad de lodos bacterianos han sido observados en zonas del río Henares recibiendo vertidos con una importante carga orgánica (Foto 1), lo cuales causan una disminución significativa de la concentración de oxígeno disuelto (Figura 1).

Las bacterias aerobias también son responsables de la oxidación de compuestos inorgánicos que, en muchos casos, resultan de la propia descomposición de la materia orgánica. Así, por ejemplo, bacterias *Nitrosomonas* oxidan el amonio a nitrito ($NH_4 \rightarrow NO_2$), bacterias *Nitrobacter* oxidan el nitrito a nitrato ($NO_2 \rightarrow NO_3$), y bacterias *Thiobacillus* pueden oxidar el sulfhídrico a sulfato ($H_2S \rightarrow SO_4$).

Por el contrario, cuando la concentración de oxígeno disuelto desciende hasta valores mínimos, son las bacterias anaerobias, o anaerobias facultativas, las encargadas de llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica usando el oxígeno de algunas moléculas como aceptor de electrones para su respiración celular. Así, por ejemplo, bacterias *Pseudomonas* y *Achromobacter* pueden reducir el nitrato a óxido nitroso y nitrógeno molecular ($NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$), bacterias *Desulfovibrio* pueden reducir el sulfato a sulfhídrico ($SO_4 \rightarrow H_2S$), y bacterias *Methanobacterium* reducen el anhídrido carbónico a metano ($CO_2 \rightarrow CH_4$).

Como resultado de todos esos procesos anaerobios, la concentración de compuestos reducidos tiende a aumentar con respecto a la concentración de compuestos oxidados, enturbiándose u oscureciéndose el agua y adquiriendo un olor desagradable. Obviamente, este escenario de anoxia y compuestos reducidos es extremadamente adverso para la gran mayoría de los organismos acuáticos, en especial para animales como invertebrados, peces y anfibios.

En la cuenca del río Henares, condiciones de anoxia y compuestos reducidos tienden a desarrollarse sobre todo en zonas de fuerte contaminación orgánica (Figura 1). No obstante, los niveles de oxígeno disuelto tienden a recuperarse gracias a la turbulencia y mezcla de las aguas, y a la actividad de los organismos fotosintéticos.

Foto 1. *Lodos bacterianos, junto con biomasa fúngica, en el cauce del río Henares a 1,5km de la localidad de Sigüenza. Como consecuencia de los vertidos deficientemente depurados, el río Henares aguas abajo de esa localidad puede considerarse una cloaca a cielo abierto (foto Julio A. Camargo en Mayo de 2006).*

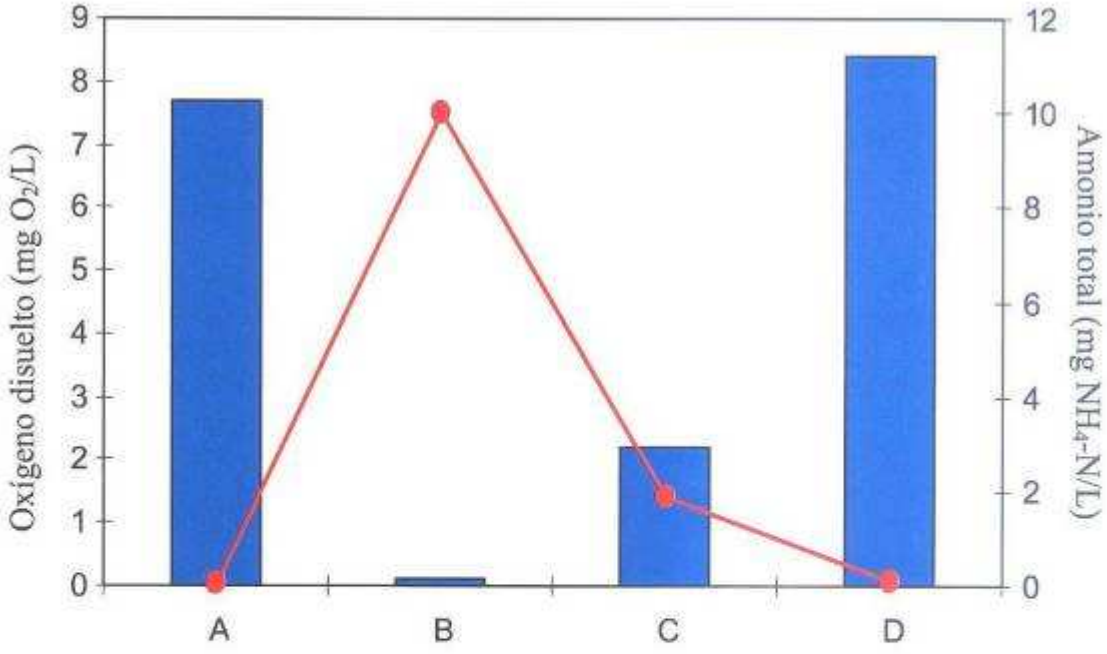

Figura 1. *Se muestran los valores para la concentración de oxígeno disuelto (barras) y de amonio total (puntos rojos) en cuatro tramos de la cabecera del río Henares. El sitio A se localiza en un punto sin contaminar aguas arriba de la localidad de Sigüenza, el sitio B a 1,6km del vertido de aguas residuales de dicha localidad, y los puntos C y D a 5,6 y a 6,5km de dicho vertido, respectivamente. Datos obtenidos por Álvaro Alonso durante Julio de 2002.*

Hongos

Junto con las bacterias, los hongos también intervienen en la descomposición aerobia de la materia orgánica, lo que puede inducir todavía más una disminución significativa de la concentración de oxígeno disuelto. Son particularmente importantes para la digestión de la materia vegetal (celulosa, lignina) y cierta materia de origen animal (el exoesqueleto quitinoso de los insectos).

Desde que en los años cuarenta del siglo pasado C. T. Ingold impulsase el estudio de la comunidad fúngica de ríos y arroyos, a los hongos del medio acuático se les denomina generalmente como hifomicetos acuáticos (u hongos ingoldianos). No solo desempeñan un papel relevante en la descomposición de hojas y demás materia vegetal, sino que además pueden ser un recurso alimenticio importante para muchos animales acuáticos, en especial para los invertebrados. Su abundancia en ríos y arroyos de Europa y otras regiones templadas suele incrementar significativamente durante el periodo otoñal como consecuencia de la acumulación de hojas provenientes de los árboles caducifolios que constituyen el bosque de ribera.

Aunque los hongos del medio acuático suelen ser incluidos dentro del grupo de los deuteromicetos, a veces también se encuentran asociados a los grupos de los ascomicetos y basidiomicetos. Además, suelen ser frecuentes los quitridiomicetos, oomicetos (mohos acuáticos) y actinomicetos. Géneros comunes dentro de los hifomicetos acuáticos son *Alatospora*, *Anguillospora*, *Articulospora*, *Clavariopsis*, *Clavatospora*, *Dendrospora*, *Flagellospora*, *Heliscus*, *Lemonniera*, *Tetracladium* y *Tricladium*. *Fusarium aquaeductuum* es una especie abundante en zonas contaminadas por materia orgánica (Foto 1).

En experimentos de campo sucesivos se examinó el efecto de un vertido urbano con depuración insuficiente, procedente de la localidad de Sigüenza, sobre la actividad fúngica (medida como tasa de esporulación) durante el proceso de descomposición de hojas. Se seleccionaron dos tramos fluviales, uno aguas arriba del vertido (sitio A) y otro aguas abajo (sitio B), ambos en el curso principal del río Henares.

Para el estudio de la descomposición de hojas se introdujeron dos conjuntos de 24 bolsas de chopo en cada sitio, que simulaban dos tratamientos: con exclusión parcial de macroinvertebrados (tratamiento F con 250μm de luz de malla), y sin exclusión (tratamiento G con 2cm de luz malla). Las concentraciones de oxígeno disuelto y de nutrientes en el agua del río también se midieron.

La descomposición de hojas se examinó durante 5 semanas, retirándose en 4 ocasiones un conjunto de 6 réplicas por sitio y tratamiento: 3 para determinar la tasa de descomposición, y 3 para estimar la tasa de esporulación en cultivo de laboratorio. Para estimar la tasa de esporulación, se cortaron 10 discos de 11mm de diámetro de cada réplica y se pusieron a esporular durante 24 horas en recipientes de vidrio con agua del río previamente filtrada, aireada y mantenida a 15° centígrados. Al cabo de este tiempo, se filtró una alícuota, se tiñó, y se contaron las esporas.

Los resultados obtenidos de los experimentos sugieren que la actividad de los hongos acuáticos, medida por su mayor o menor producción de esporas, puede ser estimulada por aumentos significativos en las concentraciones de materia orgánica y de nutrientes, siempre y cuando la concentración de oxígeno disuelto se mantenga dentro de niveles aceptables (Figura 2). No debemos olvidar que los hongos son organismos heterótrofos aerobios.

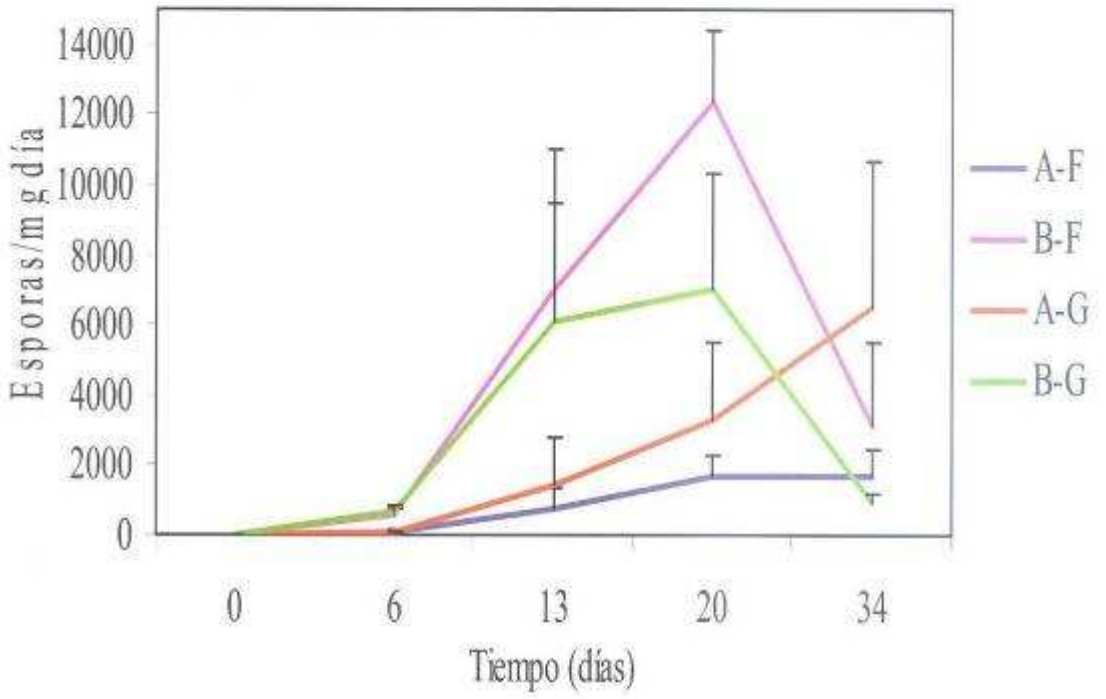

Figura 2. *Número de esporas por miligramo de masa fúngica a lo largo del proceso de descomposición de hojas de chopo en dos sitios de muestreo. El sitio A se encontraba en un punto sin contaminar aguas arriba de la localidad de Sigüenza, y el sitio B aguas abajo de los vertidos de dicha localidad (a unos 6km). El experimento tuvo dos tratamientos: F con hojas encerradas en bolsas de malla fina que excluían a los detritívoros, y G con hojas en bolsas de malla gruesa que permitían su acceso. Se puede apreciar que en el sitio B la producción de esporas fue mayor para ambos tratamientos. Datos obtenidos por Marcos de la Puente durante Febrero-Abril de 2002.*

Por otra parte, dentro del grupo de los oomicetos cabe señalar la especie *Saprolegnia parasitica* que parasita peces heridos o moribundos e incluso sus huevos. La susceptibilidad de los peces a la infección por *Saprolegnia* puede incrementar bajo condiciones de estrés según hemos podido observar en el laboratorio con bogas y bermejuelas del río Henares. Esto implica que perturbaciones antropogénicas, como la contaminación, en la cuenca del río Henares podrían causar indirectamente efectos adversos sobre las poblaciones de peces autóctonos al disminuir la efectividad de su sistema inmunitario.

Algas

En la cuenca del río Henares podemos encontrar algas viviendo en suspensión en la columna de agua, preferentemente cerca de la superficie, y también asociadas al fondo, recubriendo el sustrato y muchos objetos sumergidos. Las primeras constituyen la comunidad del fitoplancton y las segundas forman parte de la comunidad del perifiton. El fitoplancton se desarrolla mucho mejor en aguas con poca corriente o estancadas y ricas en nutrientes (eutróficas), siendo más evidente su presencia en los tramos bajos, lagunas y embalses, sobre todo durante los meses de verano por la mayor radiación solar y el incremento de la temperatura del agua (Foto 2). Por el contrario, las algas del perifiton son mucho más abundantes en los tramos altos y medios, en zonas de corriente donde el fitoplancton no puede desarrollarse y competir con el perifiton por la luz y los nutrientes. En general, las algas constituyen un buen recurso alimenticio para muchos animales acuáticos, desde crustáceos del zooplancton hasta insectos y gasterópodos del bentos, además de algunos peces, anfibios y reptiles acuáticos. Los principales grupos de algas que podemos encontrar en la cuenca del río Henares son cianoficeas, clorofíceas y diatomeas.

Cianoficeas:

Son algas procarióticas que tienen representantes tanto en el fitoplancton como en el perifiton. Además de clorofila *a* poseen otros pigmentos accesorios, como carotenos, xantofilas y ficobilinas (particularmente ficocianina), que suelen otorgar a estas algas una coloración verde-azulada. Se reproducen asexualmente por simple bipartición. Pueden existir en forma de células solitarias, o formando colonias mucilaginosas o filamentosas. Un número apreciable de cianoficeas filamentosas presenta células especializadas, denominadas heterocistes, donde se sintetiza la enzima nitrogenasa que interviene en la fijación del nitrógeno molecular para convertirlo en nitrógeno asimilable ($N_2 + 8H^+ \rightarrow 2NH_4^+$). Las cianoficeas filamentosas pueden desarrollar hormogonios (filamentos cortos) que se separan del filamento principal para multiplicarse. Géneros comunes son *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* y *Planktothrix*. Bajo ciertas condiciones ambientales en las que la temperatura del agua y la concentración de nutrientes son relativamente elevadas, algunas especies de cianoficeas (por ejemplo, *A. flos-aquae*, *A. ovalisporum*, *M. aeruginosa*, *P. agardhii*) pueden producir toxinas (anatoxinas, cilindrospermopsina, microcistinas, saxitoxinas) que afectan negativamente la supervivencia de los animales acuáticos. Aunque por el momento no disponemos de evidencias que indiquen la ocurrencia de procesos de toxicidad debido a cianotoxinas en la cuenca del río Henares, si resulta evidente que la abundancia de las cianoficeas aumenta en el curso bajo (Foto 2).

Clorofíceas:

Son algas eucarióticas que forman parte del fitoplancton y el perifiton. Representan la línea evolutiva que condujo hasta las plantas terrestres. Además de clorofila *a* poseen otros pigmentos accesorios, como clorofila *b*, carotenos y xantofilas (pero carecen de ficobilinas), predominando la coloración verde. La pared celular consta de dos capas, una exterior compuesta de pectina, y otra interior compuesta de celulosa. Poseen además gránulos de almidón, denominados pirenoides, como principal material

de reserva. Tienen un ciclo de vida complejo donde, en la mayoría de los casos, alternan una fase sexual con otra asexual. Son muy diversas en cuanto a tamaño y forma, pudiendo ser unicelulares o formar colonias mucilaginosas o filamentosas. La mayoría son microscópicas, como los géneros *Chlamydomonas*, *Cosmarium*, *Desmidium*, *Oedogonium*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Selenastrum*, *Spirogyra*, *Ulothrix*, *Volvox* y *Zygnema*. Algunas, sin embargo, pueden alcanzar desarrollos macroscópicos como el género *Cladophora*. En los tramos fluviales donde la concentración de nutrientes es elevada, estas algas filamentosas pueden constituir densas formaciones que son indicadoras de eutrofización (Foto 3).

Diatomeas:

Estas algas eucarióticas forman parte del fitoplancton y el perifiton. Además de clorofila *a* poseen otros pigmentos accesorios, como clorofila *c*, carotenos (particularmente fucoxantina) y algunas xantofilas, predominando una coloración amarilla o ligeramente marrón. Su principal material de reserva son aceites. Pueden alternar una fase asexual (por bipartición) con otra sexual (por auxósporas) durante su ciclo de vida. Uno de los componentes principales de la pared celular es la sílice (SiO_2), el cual confiere a esta estructura una rigidez y resistencia especial que a modo de cajita, con una tapa (epiteca) y una base (hipoteca), sirve para proteger mejor el protoplasma. Son microscópicas, y la mayoría presenta formas unicelulares, si bien algunas especies pueden formar colonias singulares. Géneros comunes son *Achnanthes*, *Asterionella*, *Cyclotella*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Synedra* y *Tabellaria*.

Plantas Acuáticas o Macrófitos

En el río Henares y sus tributarios podemos encontrar plantas que son realmente acuáticas (hidrófitos) pues completan su ciclo de vida cuando todas (o casi todas) sus partes se encuentran sumergidas o flotando en la superficie del agua, y plantas que son de borde o emergentes (helófitos) pues aunque su parte basal (inferior) puede estar sumergida el resto (tallos, hojas, flores) emerge fuera del agua. Además, entre las primeras, podemos diferenciar plantas enraizadas en el fondo y que viven totalmente sumergidas, plantas enraizadas en el fondo pero con parte de sus hojas y flores fuera del agua, y plantas con raíces pero que flotan libremente en la superficie del agua.

Plantas enraizadas en el fondo que viven totalmente sumergidas:

Dentro de este grupo destacan los carófitos. Son en realidad algas verdes pluricelulares muy evolucionadas que viven enraizadas en el fondo por medio de rizoides. Relativamente sensibles a la contaminación orgánica, no soportan una excesiva eutrofización de las aguas. En consecuencia, su presencia y abundancia son indicadores de un buen estado de conservación del tramo fluvial que habitan. *Chara vulgaris* es el carófito más abundante en la cuenca del río Henares, pudiendo ser encontrado principalmente en los tramos altos. Esta especie incluye un gran número de variedades y formas. Otros carófitos que podemos encontrar en los tramos altos son *Chara hispida* y *Tolypella hispanica*.

Foto 2. *Aumento de la abundancia de cianoficeas en el curso bajo del río Henares (foto Julio A. Camargo).*

Foto 3. *Incremento en la abundancia de cloroficeas filamentosas como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes en un tramo fluvial (foto Julio A. Camargo).*

Los tramos altos de la cuenca del río Henares también son hábitat para la hepática *Pellia endiviifolia* y el musgo *Drepanocladus aduncus*, así como para la fanerógama *Groenlandia densa*, que puede ser bastante abundante, y para la fanerógama halófila *Ruppia maritima*, que prolifera en ciertas zonas del río Salado.

Plantas enraizadas en el fondo pero con parte de sus hojas y flores fuera del agua:

Destacan en este grupo plantas fanerógamas de los géneros *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Ranunculus* y *Zannichellia*. Sus flores están en contacto con el aire, siendo polinizadas por el viento, los insectos, o incluso por granos de polen que flotan sobre la superficie del agua. En general presentan hojas pequeñas y filiformes que ofrecen menos resistencia a la corriente. Especies relativamente abundantes son *M. alterniflorum*, *M. spicatum*, *P. pectinatus*, *R. peltatus*, *R. penicillatus*, *Z. palustris* y *Z. peltata*. Todas ellas toleran bien cierto grado de eutrofia en las aguas, pero una fuerte contaminación orgánica afecta negativamente su supervivencia. Suelen constituir densas formaciones en zonas de poca (o no mucha) profundidad de los tramos altos, medios, e incluso bajos (Foto 4).

Plantas con raíces pero que flotan libremente en la superficie del agua:

Este grupo lo constituyen las plantas fanerógamas del género *Lemna* (lentejas de agua), en especial la especie *L. minor*. Son plantas de tamaño diminuto que tienen raíces muy pequeñas y finas, pero sin estar enraizadas en el fondo, por lo que flotan libremente, a merced del viento y la corriente, en la superficie del agua. Suelen proliferar y acumularse en zonas de aguas remansadas (o estancadas) con una elevada concentración de nutrientes (amonio, nitrato, fosfato), siendo indicadoras de eutrofización (Foto 5).

Plantas de borde o emergentes:

Estas plantas se desarrollan preferentemente en los bordes y zonas más someras de ríos, arroyos, lagunas y charcas, constituyendo a veces formaciones continuas y muy densas. Un factor que favorece su proliferación y expansión es la desaparición de la vegetación leñosa de los sotos (chopos, álamos, sauces, fresnos, olmos, tarayes, alisos, etc.), aumentando así la disponibilidad de espacio para usar la luz y los nutrientes. Destacan, por su abundancia, las formaciones de carrizo (*Phragmites australis*) y espadaña (*Typha latifolia*, *T. domingensis*) (Foto 6).

Tanto el carrizo como la espadaña (en especial *T. domingensis*) son relativamente resistentes a la desecación estacional y a la contaminación de las aguas, lo cual estaría favoreciendo su expansión por la cuenca del río Henares. Otros helófitos, como *Arundo donax*, *Carex riparia*, *Carum verticillatum*, *Cladium mariscus* (masiega), *Eleocharis palustris*, *Scirpus lacustris*, *Scirpus holoschoenus* y *Veronica anagallis-aquatica*, también pueden ser abundantes. En el río Salado pueden proliferar además las especies halófilas *Glaux maritima* y *Scirpus maritimus*. Carrizales y espadañales, así como otras plantas emergentes, a veces llegan a colmatar el cauce de algunos cursos fluviales, en especial de aquellos que presentan unas dimensiones reducidas (Foto 7).

Foto 4. *Densa formación de Potamogeton pectinatus, probablemente el macrófito sumergido más abundante en la cuenca del rio Henares (foto Julio A. Camargo).*

Foto 5. *Proliferación de lentejas de agua (Lemna minor) indicadora de un proceso de eutrofización (foto Julio A. Camargo).*

Foto 6. *Pequeña formación de espadaña, dentro de un carrizal, mostrando las características inflorescencias con forma de puro (foto Julio A. Camargo).*

Foto 7. *Carrizo y otras plantas emergentes en el arroyo Camarmilla. Este curso fluvial es uno de los más degradados de toda la cuenca del río Henares, no sólo por la alteración del cauce y la destrucción del bosque de ribera sino también por la fuerte contaminación de sus aguas (foto Julio A. Camargo en Mayo de 2006).*

Factores de Alteración y Medidas de Conservación

Los factores de alteración más evidentes para las comunidades de algas y plantas acuáticas son la eutrofización y contaminación de las aguas, así como la extracción de agua superficial o subterránea y la extracción de áridos. Además, la destrucción de los bosques de ribera está favoreciendo la proliferación y expansión de ciertos helófitos, como el carrizo, en detrimento de una mayor diversidad de plantas acuáticas.

Para corregir y disminuir los efectos de esos factores de alteración recomendamos proteger especialmente los tramos altos y medios por ser lugares donde existe una mayor cantidad de carófitos así como de otros hidrófitos singulares.

En consecuencia, habría que depurar apropiadamente cualquier vertido agrícola, ganadero, industrial o urbano, y reducir en lo posible el uso de fertilizantes inorgánicos en los campos de cultivo. De esta forma se podrían reducir tanto la contaminación puntual como la contaminación difusa. Concentraciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) por debajo de niveles tan elevados como 1,50 mg NT/L y 0,08 mg PT/L podrían evitar el desarrollo del fenómeno de la eutrofización. Sin embargo, concentraciones superiores a estos niveles son frecuentes a lo largo del río Henares (ver Tabla 4 en Capítulo V).

Por otra parte, la actuación ridícula y paradójica llevada a cabo por el Excelentísimo Ayuntamiento de Sigüenza, que "enjaula" el nacimiento del río Henares para protegerlo (Foto 8), pero que no soluciona el problema de los vertidos deficientemente depurados, los cuales causan un enorme impacto ambiental (Foto 9), tendría que ser corregida para que el río pueda desarrollar un mejor estado ecológico y pueda además ser visitado y disfrutado por las personas que así lo deseen.

También habría que reducir la extracción de áridos y de agua, incluyendo la sobreexplotación de acuíferos, con el fin de preservar el hábitat natural de estos organismos acuáticos, especialmente durante los periodos de sequía. Por último, es necesario detener la destrucción del bosque de ribera así como emprender acciones adecuadas de restauración en las zonas degradadas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "análisis integrado de los ecosistemas representativos de la cuenca del río Henares: bases para una planificación con criterios ambientales" de la Universidad de Alcalá, y al proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un río contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Marcos de la Puente disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Madrid, y Álvaro Alonso disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Castilla-La Mancha. Desde aquí queremos dar las gracias a la universidad, al ministerio, y a las diferentes comunidades por todo el apoyo prestado.

Foto 8. *Nacimiento del río Henares, "enjaulado" por el Excelentísimo Ayuntamiento de Sigüenza (foto Julio A. Camargo).*

Foto 9. *El río Henares, aguas abajo de la localidad de Sigüenza, es uno de los tramos fluviales más degradados de toda la cuenca (foto Julio A. Camargo en Mayo de 2006).*

Bibliografía Recomendada

Allan J.D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.

A.P.H.A. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, USA.

C.E.D.E.X. 2006. Jornadas sobre las Cianobacterias Tóxicas. Problemas Asociados, Seguimiento y Control. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento y Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.

Cirujano S., Medina L. 2002. Plantas Acuáticas de las Lagunas y Humedales de Castilla-La Mancha. Real Jardín Botánico (CSIC) y Junta de Comunidades Castilla-La Mancha, Madrid.

Hauer F.R., Lamberti G.A. (eds.) 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press, San Diego.

Ingold G.T. 1975. A Guide to Aquatic Hyphomycetes. Freshwater Biological Association, England.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona.

Molinero J., Pozo J., Gonzalez E. 1996. Litter breakdown in streams of the Aguera catchment: influence of dissolved nutrients and land use. Freshwater Biol. 36: 745-756.

National Research Council. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems. National Academic Press, Washington, DC.

Rheinheimer G. 1992. Aquatic Microbiology, 4th edition. John Wiley and Sons, Chichester.

Roldán A., Honrubia M., Puig M.A. 1991. Lista Florística y Bibliográfica de los Deuteromicetos Acuáticos de España. Asociación Española de Limnología, Madrid.

Streble H., Krauter D. 1984. Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce. Ediciones Omega, Barcelona.

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and Rivers Ecosystems, 3rd edition. Academic Press, San Diego.

V. EL HÁBITAT FLUVIAL: FACTORES AMBIENTALES Y HUMANIZACIÓN

***Marcos de la Puente*[1] *y Julio A. Camargo*[2]**

[1]Liquen, Consultoría Ambiental, Madrid
[2]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá

Introducción

Al hablar de la cuenca del río Henares quizá se piense primariamente en el propio río Henares o en alguno de sus afluentes (Dulce, Salado, Cañamares, Bornova, Sorbe, etc.); ciertamente, son los ríos quienes definen la cuenca hidrográfica, pero formalmente ésta no se reduce a ninguno de ellos; ni siquiera, a su conjunto. La cuenca del río Henares abarca toda la extensión geográfica en que se forman sus ríos, e incluye, por supuesto, el cauce concreto que cada uno va labrando en su recorrido particular sobre la superficie de la tierra.

El río Henares tal como lo encontramos cuando circunda la ciudad de Alcalá se ramifica aguas arriba y nos refiere a lo que acontece en toda su cuenca hidrográfica; se remonta, de hecho, hasta la Sierra de Ayllón y la Sierra Ministra, donde el flujo subterráneo aflora a la superficie empujado por la fuerza de la gravedad; se forman entonces pequeños arroyos, que empujados por esa misma fuerza gravitatoria, gradualmente consumida, van recibiendo la impronta particular de la región por la que circulan. Estos arroyos van creciendo, se van encontrando unos a otros y van formándose ríos mayores. Así se ha formado el río Henares que actualmente rodea las ciudades de Guadalajara y Alcalá: por la confluencia de ríos con diferentes personalidades, individuales al principio, como el río Dulce o el río Salado, pero reunidas en una sola, la del río Henares, hacia el final de su recorrido. Esta historia parece acabar cuando el Henares desemboca en el río Jarama, cerca de Mejorada del Campo, en la provincia de Madrid, pero su historia continúa mezclada con la del propio Jarama. Nos interesa saber qué ha ocurrido antes de esto, y como vemos, para ello hay que lanzar una mirada sobre la cuenca del río Henares.

Un somero examen de la cuenca evidencia que tiene variadas condiciones ambientales y un notable grado de humanización (Figura 1). Las cabeceras forman un arco al noroeste de la provincia de Guadalajara y se reparten entre dos sistemas montañosos con opuesta litología: la Sierra de Ayllón (Macizo Hercínico), silícea, y la Sierra Ministra (Sistema Ibérico), caliza. Los principales afluentes (ríos Dulce, Salado, Cañamares, Bornova y Sorbe) y el curso medio del Henares fluyen hacia el suroeste sobre fértiles depósitos terciarios y cuaternarios, intensamente cultivados. Más adelante,

cuando todos los afluentes se reúnen en un único cauce en el curso bajo del río Henares, aparecen las principales poblaciones de la cuenca y hay una intensa actividad industrial, especialmente entre Guadalajara y Alcalá de Henares, no muy lejos de su confluencia con el río Jarama. Evidentemente, antes de esto las aguas del Henares y sus afluentes han tenido que satisfacer las demandas agrícolas, industriales y urbanas, y para ello se almacenan en cuatro embalses, construidas en los principales afluentes (Salado, Cañamares, Bornova y Sorbe); posteriormente se distribuyen mediante el "Canal del Sorbe", para consumo humano, y el "Canal del Henares", para riego principalmente, pero también para abastecimiento urbano. Han sido más de 180 km de recorrido en que el río Henares ha ido asimilando, mal que bien, la historia de unas tierras muy diversas, que suman 4.136 km^2.

Estos serían los atributos más notorios de la cuenca, pero hay otros factores ambientales que condicionan la vida acuática a menor escala y requieren una mirada más próxima. Si nos acercamos a la ribera de un tramo fluvial cualquiera y echamos una mirada en torno veremos el escenario concreto en que se desenvuelven las comunidades acuáticas (Figura 2). Este escenario o hábitat fluvial tiene varias características: unas dimensiones, un sustrato, un régimen hidrológico, unas aguas con ciertas características físico-químicas, una vegetación riparia que lo envuelve y, por supuesto, unas fuentes de materia y energía para la vida acuática. Las condiciones ambientales que afectan la vida acuática se registran, pues, tanto en la cuenca como en el tramo fluvial, y tienen varios componentes (Figura 2). Si adoptamos una visión sistemática e intentamos poner cierto orden en estos componentes, parece razonable que la fisiografía de la cuenca haya condicionado el asentamiento humano y los usos del territorio. Por otro lado, las condiciones ambientales de cada tramo fluvial, aparte ciertos condicionantes locales, se verán afectadas tanto por la fisiografía de su cuenca fluvial como por la humanización de la misma. La fisiografía puede definirse por la topografía, la geología y el clima de la región, mientras que la humanización sería el producto de la población, la actividad industrial, el cultivo de las tierras, el manejo de los montes, el pastoreo, y el almacenamiento y distribución de las aguas.

Nuestra intención es examinar en detalle los atributos o factores ambientales de la cuenca del río Henares a los dos niveles propuestos (cuenca y tramo fluvial), poniéndolos en conexión para componer el escenario que se contempla desde dentro del río; esto es, vamos a meternos dentro del río para adoptar el punto de vista de las comunidades acuáticas y vamos a lanzar una mirada en torno en su peculiar perspectiva. En esta inmersión vamos a utilizar una metodología científica, intentando preservar la sencillez e inmediatez de las visiones menos elaboradas.

Metodología

En primer lugar, hemos seleccionado 27 tramos fluviales, distribuidos de modo que recogieran las principales variaciones naturales (confluencias, litología, topografía, clima) y las mayores alteraciones antropogénicas (población, actividad industrial, usos agrícolas o silvícolas, presas, etc.) observadas en un examen preliminar de la cuenca (Figuras 1 y 2). Utilizando un SIG y un MDT hemos delineado la subcuenca asociada a cada tramo fluvial y hemos calculado sus principales características: superficie,

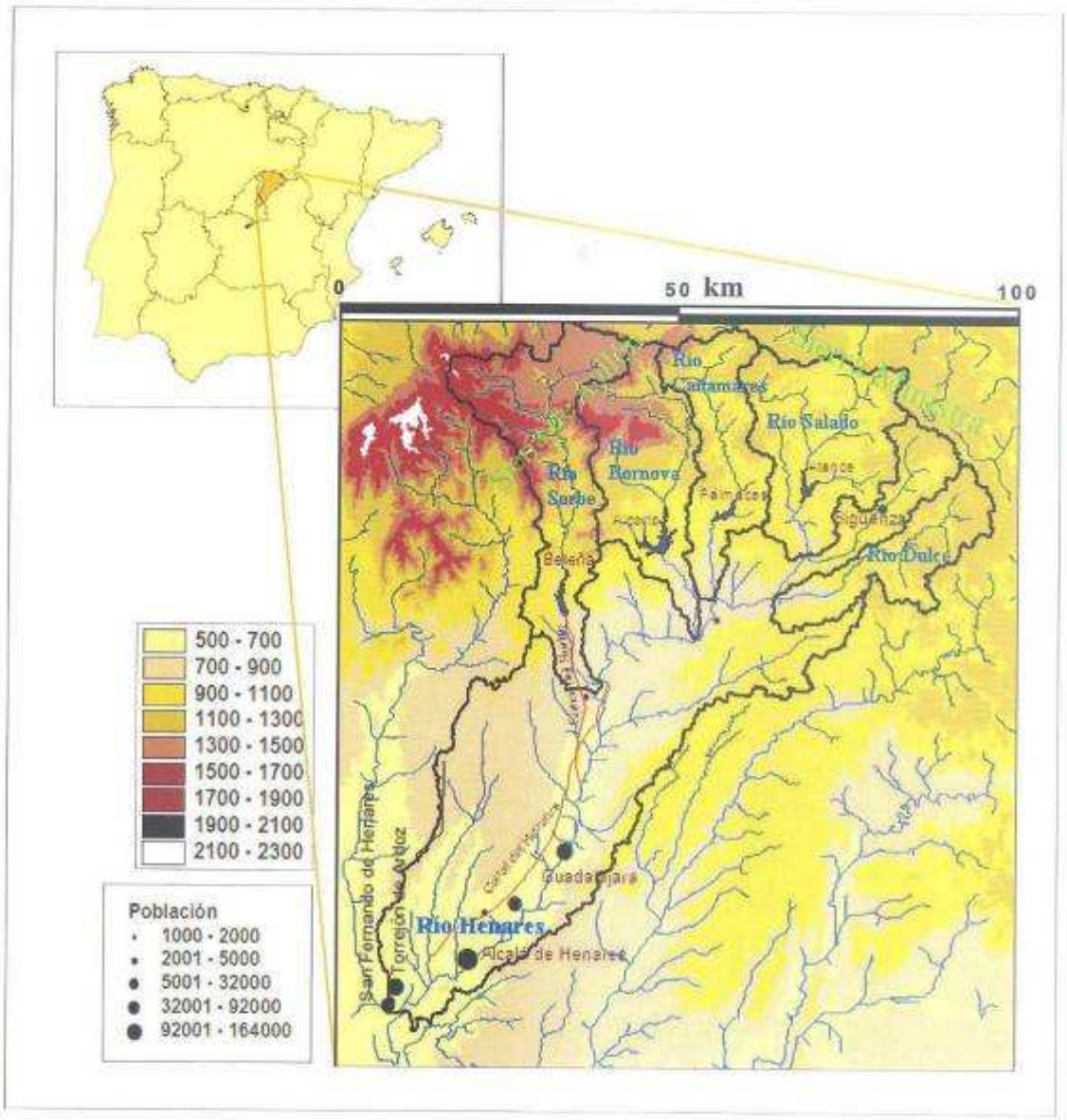

Figura 1. *Mapa general de la cuenca del río Henares: topografía, tributarios principales con sus respectivas cuencas, embalses, canales de distribución, y principales núcleos poblaciones.*

litología, topografía, clima, población, actividad industrial, usos agrícolas y silvícolas, y agua embalsada. En cada tramo fluvial hemos muestreado la físico-química del agua en nueve ocasiones a lo largo del año hidrológico 1998-1999 (nutrientes, conductividad, iones mayoritarios, alcalinidad, oxígeno disuelto, pH, turbidez) mediante técnicas analíticas estandarizadas; hemos determinado a partir de 10 transectos distribuidos sistemáticamente a lo largo de cada tramo (100 m) la morfología del cauce (sinuosidad, gradiente, anchura del cauce y del lecho), la granulometría del lecho, la composición y cobertura de la vegetación riparia y la radiación solar; finalmente hemos estimado ciertos parámetros hidrológicos (caudal, velocidad de la corriente, profundidad de la columna de agua).

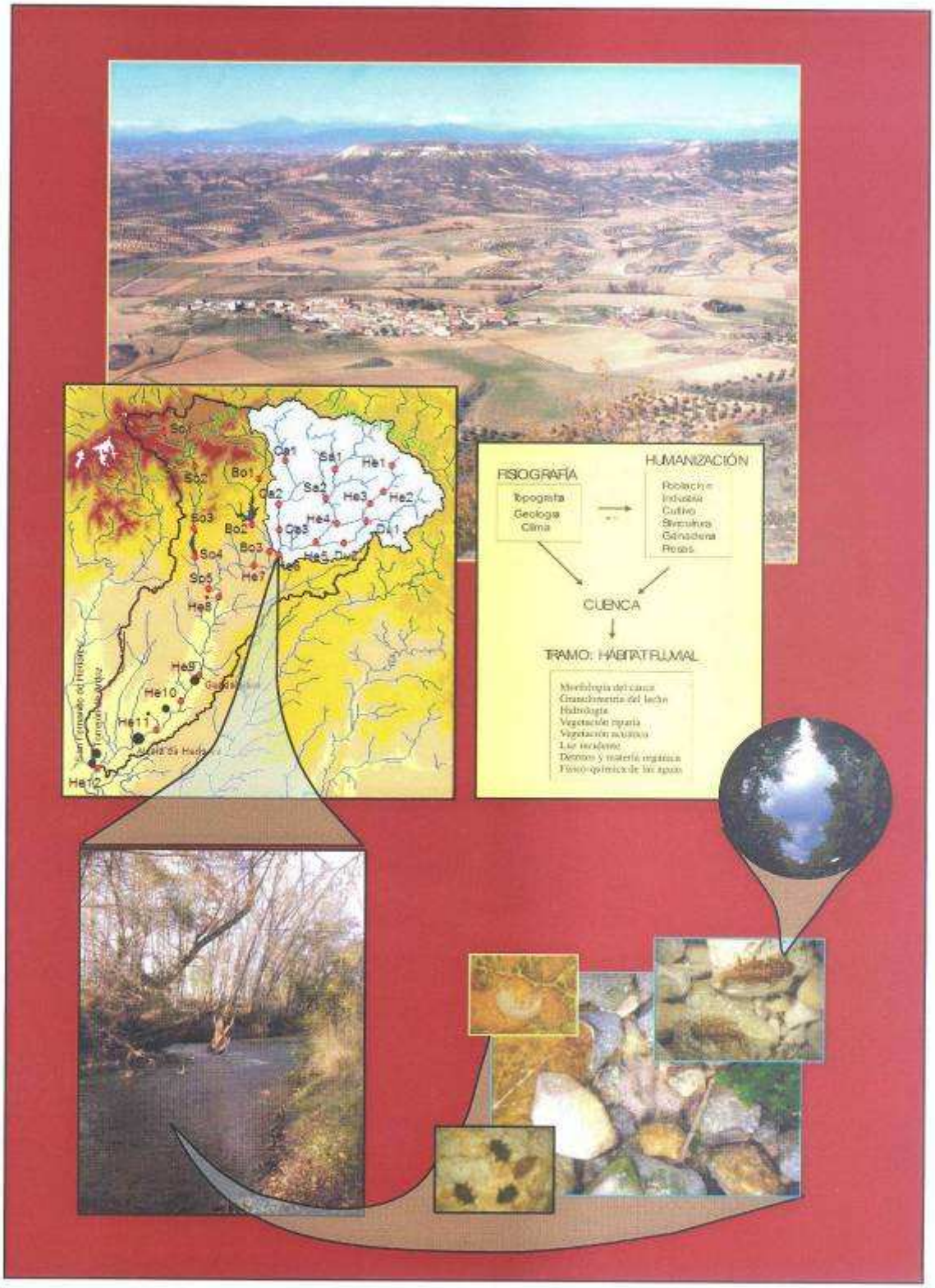

Figura 2. *Relación entre el tramo fluvial y la cuenca hidrográfica. Los usos del territorio son muy antiguos y el paisaje se nos presenta hoy día muy humanizado. Al acercarnos al río se hacen visibles las características del hábitat fluvial: el cauce, el sustrato del lecho, el caudal, la hojarasca, la vegetación riparia, los organismos, etc.*

Una vez recogida toda esa información ambiental, vamos a utilizar una de las técnicas de análisis numérico más populares para la reducción de información, que consiste en disponer en un espacio reducido (usualmente en un plano o en un espacio tridimensional) la mayor proporción de la variabilidad contenida en las variables originales. En esta ordenación las relaciones existentes entre los elementos (subcuencas o tramos fluviales) son aproximadamente proporcionales a su distancia espacial, y las variaciones ambientales se denotan mediante simples flechas, cuya dirección indica la dirección de cambio y cuya longitud es proporcional a la magnitud del mismo.

A continuación vamos a analizar la fisiografía de la cuenca del río Henares y su humanización; luego analizaremos detalladamente las características ambientales de cada tramo fluvial, y finalmente pondremos en conexión de estas características con la fisiografía y la humanización de las subcuencas asociadas a los tramos. Obtendremos así una visión sintética de las condiciones ambientales de la cuenca del río Henares y sus múltiples conexiones en la perspectiva de las comunidades acuáticas, y estaremos en condiciones de proponer ciertas medidas para su conservación y la recuperación ambiental de las zonas más deterioradas.

La Cuenca Hidrográfica

Fisiografía:

La fisiografía de una región podría resumirse en tres componentes: la topografía, la geología y el clima. Estos tres componentes están interrelacionados: por ejemplo, la geología condiciona la topografía, y la topografía condiciona el clima. En conjunto, estos tres componentes definen la fisiografía de la cuenca hidrográfica, y tienen ciertas consecuencias sobre el hábitat fluvial. Cada cuenca ocupa una cierta superficie, con una topografía o relieve, que puede caracterizarse por la altitud y la pendiente media, y desde un punto de vista hidrográfico, contiene una cierta longitud de río. La geología de la cuenca del río Henares es muy diversa (ver Capítulo I), pudiendo sintetizarse en cuatro tipos elementales: silícea, caliza, evaporítica y sedimentaria. Por último, el clima se puede caracterizar de modo elemental por la precipitación y la temperatura. En Tabla 1 se presentan los valores de estas variables en las 27 subcuencas y tramos fluviales seleccionados, y en Figura 3 se presenta la ordenación sintética de estas mismas variables y de las subcuencas (83% de la variación original recogida).

El eje horizontal representa una segregación geológica, en un lóbulo calizo y otro silíceo, muy próxima a una segregación topográfica y térmica. La cabecera del río Henares y las cuencas del Salado y el Dulce se encuentran en la región caliza, de relieves suaves (Sierra Ministra), al noreste de la cuenca del Henares. En esta región, los estratos salinos del Keuper son localmente abundantes, especialmente en la cuenca del río Salado. Al noroeste de la cuenca, en una región más elevada, abrupta y fría (Sierra de Ayllón), de litología silícea, se encuentran las cuencas del Sorbe y del Bornova. Entre ambas regiones, el río Cañamares representa una transición topográfica y litológica. El eje que segrega ambas regiones podría denominarse sintéticamente eje páramo-montano o calizo-silíceo (ver Figuras 4 y 5).

Tabla 1. *Valores de las variables fisiográficas que describen la topografía, la geología y el clima de las 27 subcuencas asociadas a los tramos fluviales de los ríos Henares (He), Dulce (Du), Salado (Sa), Cañamares (Ca), Bornova (Bo) y Sorbe (So). Datos de precipitación anual y valores de altitud, pendiente y temperatura.*

	Topografía				Geología					Clima	
Subcuenca	Área (km^2)	Dist. naci. (km)	Altitud (m)	Pend. (m/km)	Gneis (%)	Esquis-Piza-Cuar (%)	Keuper (%)	Cal-Dol-Mar (%)	Depó. sedi. (%)	P (mm)	Tª (°C)
He1	24	2,6	1.175	13	0	0	23	77	0	627	12,3
He2	94	11,3	1.126	13,5	0	0	38	27	0	624	12,2
He3	112	16,8	1.116	13,9	0	0	39	28	0	606	12,2
He4	170	30,3	1.087	14,3	0	3	27	41	7	544	12,1
He5	947	39,7	1.063	13,9	0	2	27	43	18	511	11,9
He6	1.399	56,1	1.054	14,5	2	5	19	33	26	494	11,7
He7	1.872	66,5	1.078	15,7	5	13	15	25	30	499	11,4
He8	2.617	88,8	1.105	17,4	4	22	12	21	32	511	11,2
He9	3.295	113,6	1.054	15,9	3	18	10	17	46	497	11,4
He10	3.406	124,3	1.043	15,7	3	17	10	16	48	492	11,4
He11	3.545	136,2	1.030	15,4	3	16	9	16	50	488	11,5
He12	4.130	162,8	989	14,3	2	14	8	14	57	476	11,7
Du1	185	7,8	1.130	9,8	0	0	28	66	0	629	12
Du2	225	18,5	1.113	11	0	0	23	64	8	594	12
Sa1	257	21,3	1.066	14,3	0	1	41	37	4	524	11,7
Sa2	418	27	1.056	14,6	0	4	37	42	5	492	11,8
Ca1	159	23,1	1.148	14,6	3	18	9	19	0	507	10,3
Ca2	283	33,5	1.103	16,5	11	18	5	18	14	480	10,8
Ca3	319	42,6	1.085	16,6	10	17	5	16	22	478	10,9
Bo1	149	29,3	1.335	22,3	5	68	5	9	6	515	9,5
Bo2	373	36,5	1.223	20,6	18	47	4	5	23	522	10,2
Bo3	406	47,3	1.197	20,1	17	43	4	4	29	520	10,3
So1	58	11,3	1.565	32,7	0	100	0	0	0	635	8,6
So2	280	27,5	1.457	23,7	0	65	7	20	5	568	8,6
So3	436	48,4	1.372	25,2	0	73	5	16	3	558	9,2
So4	477	49,3	1.339	25	0	67	7	16	7	556	9,5
So5	545	61,5	1.282	24	0	59	6	14	19	551	9,9

El eje vertical, cuya importancia es similar al primero, sigue la dirección de los cauces fluviales, que discurren en su mayoría en dirección noroeste-sureste, y recoge el crecimiento de las cuencas y el aumento de la distancia al nacimiento. Esta variación está asociada al aumento de la proporción de depósitos sedimentarios que acompaña al crecimiento de los ríos, y es paralela a la disminución de las precipitaciones, como resultado probablemente de la pérdida de altitud. Ambas variaciones son muy visibles a lo largo del curso del Henares, siguiendo el eje vertical, que podría denominarse sintéticamente eje hidrográfico-sedimentario (ver Figuras 4 y 5).

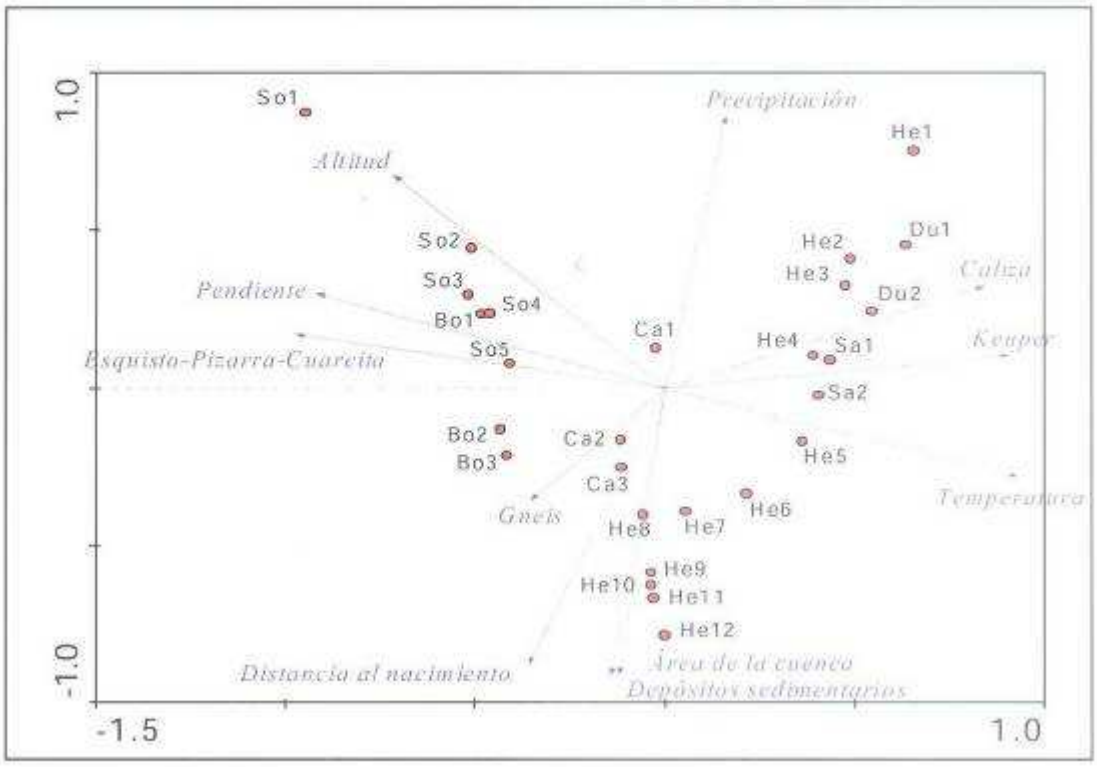

Figura 3. *Ordenación sintética de las variables fisiográficas en las 27 subcuencas asociadas a los tramos fluviales.*

Humanización:

Las actividades humanas en la cuenca del río Henares que pueden tener mayor efecto sobre los ríos son, principalmente, la industria, el cultivo de las tierras, y el manejo de los montes, el pastoreo y el almacenamiento y distribución de las aguas. La actividad industrial es difícilmente cuantificable, y nosotros vamos a utilizar una medida indirecta: la potencia eléctrica contratada por las actividades industriales más impactantes sobre el río (como la potencia manufacturera petroquímica). El cultivo de las tierras y el manejo de los montes puede cuantificarse mediante la proporción de la cuenca dedicada a cada uso: secano, regadío, pastizal, praderas naturales, matorral esclerófilo, bosque esclerófilo, bosque de coníferas y bosque mixto. El pastoreo se cuantificará mediante las cabezas de ganado por km^2 (bovino, ovino, caprino o porcino). Adicionalmente, vamos a utilizar la población de cada subcuenca, expresada en habitantes por km^2, como medida indirecta de la presión humana sobre el territorio.

En Tabla 2 se presentan los valores de estas variables en las 27 subcuencas y tramos fluviales seleccionados, y en Figura 4 se presenta la ordenación sintética de estas mismas variables y de las subcuencas (71% de la variación original recogida). La ordenación tiene una evidente relación con la fisiografía (compárense Figuras 2 y 4) y de nuevo, la distribución de las subcuencas en el plano factorial reproduce con notable exactitud su distribución geográfica.

El eje horizontal recoge las diferencias entre los usos agrosilvícolas en las cuencas del Sorbe y el Bornova respecto al resto de cuencas hidrográficas. Este eje se podría denominar sintéticamente eje agrosilvícola (Figura 5). El segundo eje despliega el aumento de la población, la actividad industrial y el regadío desde las cabeceras hasta las desembocaduras de los ríos, con el consiguiente aumento del agua embalsada en las presas de abastecimiento y regulación. Este eje se podría denominar sintéticamente eje poblamiento-industria (Figura 5).

Las cuencas del río Sorbe y del Bornova se encuentran muy agrupadas en una región de la ordenación caracterizada por la vegetación de montaña, compuesta por bosques de coníferas (15-30 %, más abundantes en el Sorbe), pastizales (3-5 %) y matorrales esclerófilos (40-66 %) (la abundancia de matorrales esclerófilos denota una cierta degradación de la vegetación frondosa original). En esta región predominan el ganado bovino (2-4 cabezas/km^2) y el caprino (0,2-0,7 cabezas/km^2), especialmente en los tramos altos.

La situación del resto de la cuenca del río Henares es diametralmente opuesta, pues está dominada por el cultivo de secano (en torno al 30% y extensión máxima en la cuenca del río Salado, entre el 35 y el 40%). La confluencia del Sorbe no hace disminuir en absoluto la proporción de secano en el curso bajo del Henares, pues se ve compensado por la notable adición de superficie dedicada a este cultivo en los tramos bajos del Henares (de He8 a He12). En las subcuencas del tramo alto del Henares (He1 a He4) y de los afluentes de esta región (río Salado y río Dulce), el cultivo se entremezcla con bosque esclerófilos y praderas de caméfitos, y en el tramo superior del Henares (He1) aparecen algunos bosques mixtos, que lo singularizan respecto a otros tramos del Henares.

El eje vertical, que recoge menor proporción de variación, corresponde de forma aproximada a un eje geográfico noreste-suroeste y registra la variación en la población y la actividad industrial. Hay un aumento especialmente claro a lo largo del curso principal del Henares, que se acentúa a partir de la desembocadura del Sorbe (He8), cuando se hace casi exponencial, tanto en la población como en la industria manufacturera y la industria PQ (esta última casi no existía hasta llegar a Guadalajara). A lo largo de este eje, el orden de las cuencas del Henares refleja con notable fidelidad su orden geográfico, pero la subcuenca correspondiente al tramo He3 se encuentra desplazada de su posición geográfica natural. Este tramo se encuentra aguas abajo de Sigüenza (única población "grande" al norte de Guadalajara: 4.000 habitantes), y su elevada población y actividad manufacturera (no PQ) lo aproximan a las condiciones propias del curso bajo del Henares.

Enlace entre humanización y fisiografía:

Hay una evidente conexión entre la humanización de la cuenca hidrográfica del río Henares y la fisiografía. De hecho, formalmente los ejes de variación que sintetizan las características fisiográficas (el eje calizo-silíceo o páramo-montano y el eje hidrográfico-sedimentario) explican la mayoría de la variación (59%) en la humanización de las subcuencas (Figuras 5 y 6).

Tabla 2. *Población, actividad industrial, actividada agrosilvícola y ganadería en las 27 subcuencas asociadas a los tramos fluviales.*

	Industria y Población			Agrosilvicultura								Ganadería		
Subcuenca	Población (hab./km^2)	Pot. Manu. (Kw/km2)	Pot. PQ (Kw/km^2)	Bosque escle. (%)	Bosque mixto (%)	Coníferas (%)	Matorral escle. (%)	Pastizal (%)	Pradera (%)	Regadío (%)	Secano (%)	Bovino (cabezas/km^2)	Caprino (cabezas/km^2)	Porcino-Ovino (cabezas/km^2)
He1	0,2	0	0	10	3,6	0	0	0	51	0	32	1,03	0,2	5,13
He2	1,5	0,117	0	11	1,3	6	10	0	26	0,8	33	1,03	0,2	5,13
He3	38	6,326	0,071	9	1,1	9	9	0	28	0,9	32	1,03	0,2	5,13
He4	25	4,166	0,047	15	0,7	6	10	0	30	0,6	24	0,98	0,19	5,11
He5	7,8	1,946	0,026	17	0,2	2	8	0,2	22	1,2	31	0,55	0,1	6,27
He6	7,3	3,325	0,018	13	0,3	3	13	0,7	19	1,3	31	0,4	0,1	6,55
He7	6	2,734	0,013	10	0,2	6	20	1,1	16	1,5	27	0,77	0,22	5,71
He8	5,2	2,59	0,01	9	0,3	11	24	1,3	13	1,4	23	1,1	0,21	4,76
He9	7,6	2,87	0,099	8	0,3	9	20	1,1	10	2,7	32	1,47	0,17	4,29
He10	27,6	11,363	1,785	8	0,3	9	20	1	10	3,3	33	1,51	0,17	4,23
He11	34,5	30,139	6,318	8	0,2	8	19	1	10	4,2	33	1,5	0,16	4,23
He12	102,7	64,293	24,53	7	0,2	7	18	0,9	9	4	39	1,5	0,15	5,17
Du1	4,5	0,286	0	11	0	4	9	0,1	27	0,6	31	0,3	0,07	3,23
Du2	4,8	0,236	0	13	0	3	8	0,1	23	0,6	31	0,48	0,06	2,99
Sa1	3,2	3,996	0,066	12	0,1	1	11	0	25	0,3	39	0,38	0,07	11,38
Sa2	2,7	2,458	0,041	15	0,1	1	9	0,3	24	0,6	35	0,43	0,09	9,38
Ca1	1,9	0,264	0	6	0	6	24	5,2	20	0	28	0,09	0,03	11,64
Ca2	2,1	0,149	0	3	0	9	32	3,1	20	0	21	0,21	0,1	9,61
Ca3	2,7	0,132	0	3	0,7	8	30	2,8	18	0,1	22	0,14	0,15	7,63
Bo1	2,6	1,339	0	1	0	24	45	3,7	4	0	2	1,97	0,38	3,53
Bo2	2,4	0,638	0	125	0	18	49	2,6	7	0	5	2,1	0,68	2,95
Bo3	2,5	0,586	0	1	0	16	46	2,3	7	0,3	9	2	0,63	3,04
So1	0	0	0	0	0	26	66	0	0	0	0	4,24	0,57	1,67
So2	1,3	0,004	0	1	0	29	40	5,2	6	0	1	3,89	0,3	1,95
So3	1,1	0,002	0	2	1,1	31	40	3,5	5	0	2	2,72	0,24	1,59
So4	1	0,002	0	2	1	31	40	3,2	5	0	2	2,5	0,24	1,66
So5	0,9	0,002	0	3	0,9	28	40	2,8	5	0	5	2,38	0,22	1,77

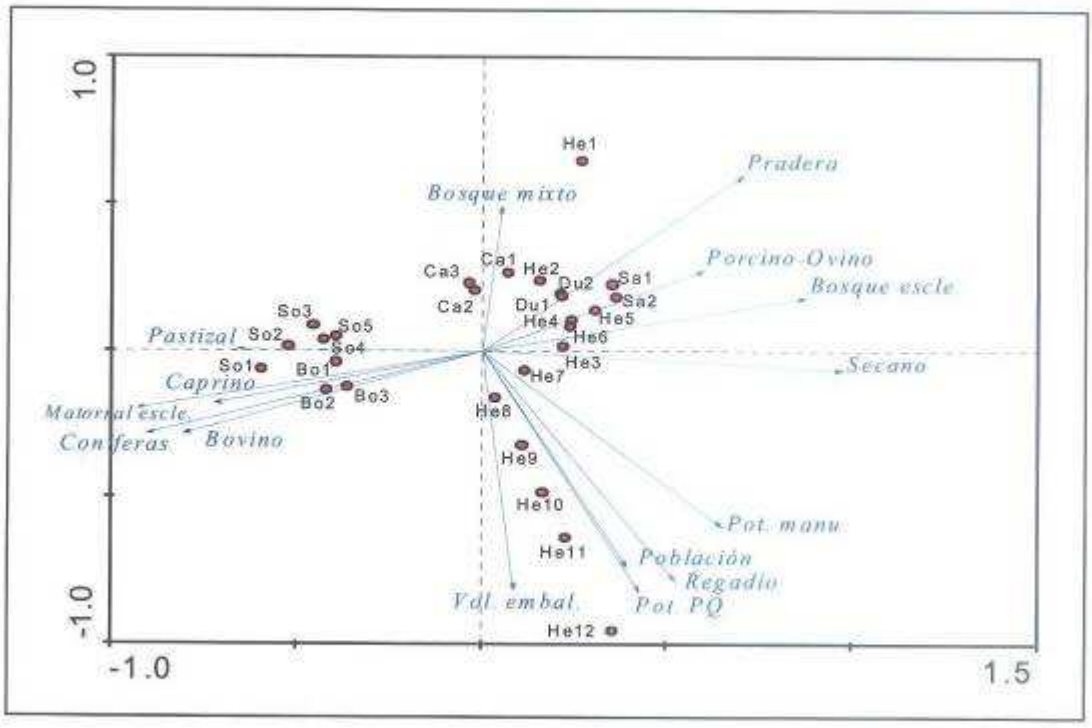

Figura 4. *Ordenación sintética de las variables que describen las formas de humanización en las 27 subcuencas asociadas a los tramos fluviales.*

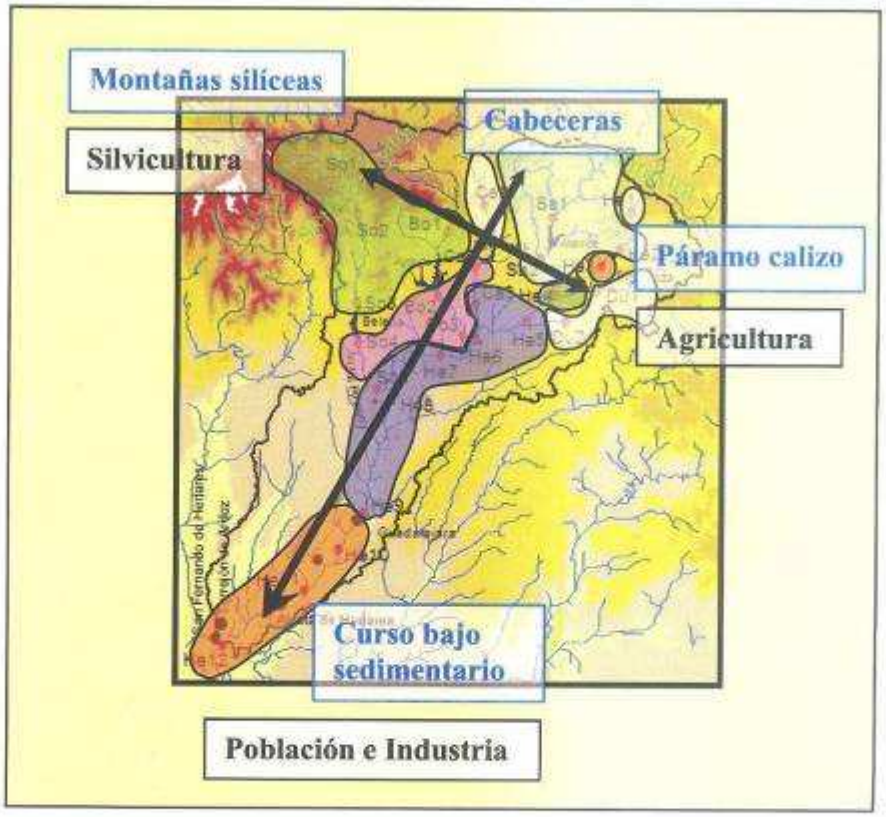

Figura 5. *Proyección geográfica de los componentes principales de la fisiografía (en azul) y la humanización (en negro) de la cuenca del río Henares.*

Las variaciones naturales de los páramos calizos a las montañas silíceas explican el 43% de la variación en las formas de humanización, y la variación hidrográfica de las cabeceras a los tramos bajos, junto al aumento en esta dirección de la proporción sedimentaria, explican otro 16% de esta variación.

En la región caliza, la altitud media (1.000 m), el relieve suave (1-1.5%) y las temperaturas moderadas (media 11-12 °C) han favorecido la extensión del cultivo de secano (30% aprox.) y el establecimiento de una importante cabaña ovina (3-7 cabezas/km^2), que aprovecha las praderas naturales, los rastrojos, los barbechos y la vegetación rala (20-50% aprox.) que se intercalan con los cultivos (en Atienza se ha establecido una cabaña porcina importante). En cambio, en la región silícea, la elevada altitud (1.200-1.600 m aprox.), el relieve abrupto (2-3%) y el clima más extremado (promedio 9-10 °C) han favorecido una actividad agroforestal dominada por la explotación de coníferas (15-30% aprox.), las formaciones de matorral (40-60% aprox.) (que apuntan una cierta degradación de la vegetación original) y los pastizales de montaña (2-5% aprox.), que son aprovechadas por el ganado vacuno (2-4 cabezas/km^2 aprox.) y los rebaños de cabras en las zonas más abruptas (0,2-0,7 cabezas/km^2 aprox.). La cuenca del río Cañamares representa una transición entre las dos regiones.

Por otra parte, hacia el curso medio (He5 a He8) y bajo (He9 a He12) del río Henares aumenta progresivamente la superficie de depósitos sedimentarios (20 al 60% aprox.), muy adecuados para el cultivo de secano. En estos tramos se han establecido también regadíos gracias a los niveles freáticos y las aguas para el riego que suministran el propio río Henares y los embalses situados en los afluentes principales, distribuida mediante acequias y canales de riego, alguno de grandes dimensiones (Canal del Henares). En el curso bajo del río Henares aparecen abruptamente las grandes urbes de la cuenca, y con ellas, una intensa actividad industrial, mucho más contaminante que la existente hasta entonces, pero esta aparición no obedece exclusivamente a razones fisiográficas, sino que debe atribuirse a la proximidad a Madrid.

Tramos Fluviales y Hábitat Fluvial

Para conocer el escenario real en que se desenvuelven las comunidades acuáticas hay que examinar el hábitat fluvial en cada tramo concreto, y para ello hay que acercarse al borde del río y lanzar una mirada más próxima (como en Figura 2).

La morfología del cauce es el primer condicionante de la vida acuática, pues su anchura decide la cantidad máxima de hábitat fluvial. El cauce tiene además cierto grado de sinuosidad y cierta pendiente. La mayor parte de la vida acuática acontece en el lecho fluvial, que tiene una granulometría determinada; por ejemplo, puede ser arenoso, o al contrario, puede estar compuesto de grandes bloques. La cantidad de agua que circula por el tramo, la velocidad de la corriente y la profundidad de la columna de agua representan el ambiente propiamente acuático (en la región mediterránea, el caudal es mínimo durante el estiaje, y entonces la velocidad de la corriente y la profundidad del río pueden mermar drásticamente, hasta el punto de dejar el hábitat fluvial reducido a una sucesión de pozas: ríos temporales y arroyos de montaña).

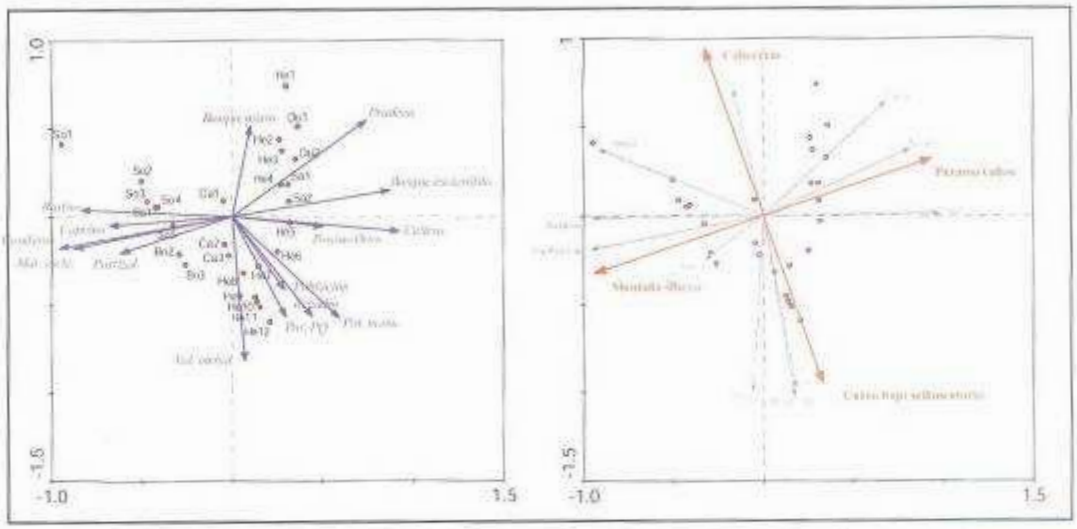

Figura 6. *Izquierda, ordenación de las variables que describen las formas de humanización en las 27 subcuencas asociadas a los tramos fluviales. Derecha, proyección en este plano de los componentes principales de la fisiografía y proyección suplementaria de las variables fisiográficas.*

Envolviendo este hábitat fluvial se encuentra la vegetación riparia, que tiene una composición particular y puede alcanzar diferente grado de desarrollo. En la distribución típica, los sauces y alisos se extienden a lo largo de la orilla, los chopos forman una segunda banda y los olmos ocupan la zona más alejada del cauce; también puede presentarse una banda de helófitos a lo largo de las orillas, tanto de modo natural, en los tramos bajos, como sustituyendo la vegetación riparia original. Cuando la vegetación riparia falta completamente, las orillas suelen erosionarse y el cauce está intensamente iluminado, lo cual favorece la producción primaria e incluso puede elevar la temperatura del agua. La vegetación acuática puede componerse, grosso modo, de macrófitos, algas filamentosas o musgos, y forma para ciertos organismos, como los macroinvertebrados bentónicos, parte del hábitat fluvial. Por último, la materia orgánica, disuelta o particulada en fragmentos de tamaño variable, y la luz incidente son las fuentes de materia y energía para las comunidades acuáticas.

La físico-química del agua condiciona, por supuesto, la vida acuática, pero también influye el uso que el hombre puede hacer de ella. Además, respecto a otros componentes del hábitat fluvial, el agua está en continuo movimiento; por tanto, presenta variaciones temporales bastante continuas, y a veces de gran magnitud.

Morfología, granulometría, hidrología, vegetación riparia y vegetación acuática:

En Tabla 3 se presentan los valores de las variables que definen estos cinco componentes del hábitat fluvial en los 27 tramos fluviales seleccionados, y en la Figura 7 se presenta la ordenación sintética de estas mismas variables y de los 27 tramos (47% de la variación original). En esta ordenación, los tramos fluviales no muestran una marcada estructura espacial, lo cual sugiere variaciones locales en las características del hábitat fluvial, y por tanto, la presencia de discontinuidades espaciales, que apenas se registraban en la fisiografía y la humanización de las subcuencas.

Tabla 3. *Valores de las variables que describen la morfología del cauce, la granulometría del lecho, la hidrología, la estructura y cobertura de la vegetación riparia y la proporción de vegetación acuática en los 27 tramos fluviales.*

	Morfología del cauce			Granulometría					Hidrología				Vegetación riparia								Vegetación acuática		
Subcuenca	Pendiente (%)	Rectificación	Anchura (m)	Phi	< 2 mm (%)	2-32 mm (%)	32-128 mm (%)	128-256 mm (%)	Prof. (m)	Vel. (m/s)	Caudal (m3/s)	Orilla (%)	Helófitos (%)	Chopo (%)	Sauce (%)	Aliso (%)	Cober. (%)	Arbolado (1.000 m)	Anchura (1.000 m)	Algas fila. (%)	Briófitos (%)	Macrófitos (%)
He1	1,76	0,89	2,7	3,9	13	51	34	7	0,1	0,21	2,301	0	0	33	23	0	75	1.000	30	0	24	0
He2	0,66	1	3,1	2,2	59	30	13	0	0,18	0,19	0,094	0	45	5	0	0	10	0	0	16	0	4
He3	0,71	0,96	3,3	1	100	0	0	0	0,16	0,22	0,107	0	15	8	13	0	20	280	4	0	0	0
He4	0,5	0,86	4,9	4,5	0	61	39	0	0,11	0,48	0,09	0	0	58	19	0	81	1.000	36	19	0	0
He5	0,18	0,7	6,6	3,9	3	68	28	0	0,28	0,47	0,386	50	40	55	0	0	73	620	39	14	0	8
He6	0,15	0,96	12,9	4,8	0	54	54	0	0,25	0,58	0,169	75	10	63	13	0	95	1.000	36	28	0	0
He7	0,31	0,67	19,4	4,8	9	29	61	2	0,28	0,33	0,484	0	5	33	65	3	100	960	26	22	0	6
He8	0,28	0,9	14,7	6,9	0	6	43	54	0,29	0,49	0,501	60	0	33	30	0	63	950	33	40	0	0
He9	0,16	0,97	13	5,9	0	24	51	22	0,33	0,54	0,612	0	15	25	55	0	80	1.000	41	19	0	0
He10	0,18	0,89	30,8	6,1	0	31	31	38	0,21	0,71	2,348	0	100	0	0	0	0	225	9	3	0	29
He11	0,12	0,62	18,6	4,6	2	44	54	0	0,34	0,64	2,551	5	63	10	8	0	20	900	36	12	0	35
He12	0,22	0,71	22,2	5,6	0	8	94	0	0,45	0,57	5,593	0	70	0	8	0	8	0	0	0	0	94
Du1	0,79	0,69	9,5	6,2	0	8	33	10	0,12	0,18	1,544	0	0	78	0	0	90	870	32	21	23	0
Du2	0,67	0,94	7,1	3,7	12	60	17	13	0,18	0,41	1,535	0	5	50	0	0	80	1.000	28	9	15	4
Sa1	0,33	0,97	7,2	1	100	0	0	0	0,13	0,18	0,422	0	100	8	0	0	8	0	4	3	0	26
Sa2	0,41	0,97	9,1	3,7	21	44	33	2	0,17	0,18	1,141	0	80	15	8	0	25	0	10	15	0	3
Ca1	0,54	0,61	5,1	4,3	6	47	38	7	0,18	0,23	0,21	0	75	20	35	0	55	0	0	27	12	9
Ca2	0,56	0,71	9,7	5,6	4	20	59	16	0,16	0,24	0,777	70	0	18	18	0	40	900	13	0	0	17
Ca3	0,42	0,89	12,5	5,6	0	28	58	13	0,21	0,3	1,577	65	5	3	10	0	13	745	13	16	0	33
Bo1	0,73	0,83	7,6	6,6	0	11	33	42	0,26	0,31	0,035	0	0	5	3	30	40	1.000	15	8	0	0
Bo2	0,65	0,89	10	5,7	2	26	46	26	0,13	0,21	0,078	0	0	20	35	30	85	895	26	36	0	0
Bo3	0,5	0,86	19,6	4,9	10	24	51	14	0,11	0,12	0,148	0	30	15	18	45	78	863	45	7	0	60
So1	0,75	0,91	11,2	6,5	0	18	43	39	0,27	0,34	1,317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
So2	0,55	0,73	9,3	7,1	0	8	29	63	0,29	0,29	1,862	0	0	5	70	0	75	615	14	5	0	3
So3	0,5	0,81	12,4	6,6	4	4	35	57	0,36	0,37	2,006	0	0	0	5	63	75	1.000	34	18	0	0
So4	1,43	0,97	10,9	6,2	0	16	54	30	0,2	0,31	0,601	5	0	20	28	28	75	1.000	29	1	21	2
So5	0,4	0,77	6,6	6	0	16	64	19	0,14	0,41	0,451	0	0	0	28	40	68	880	35	8	0	0

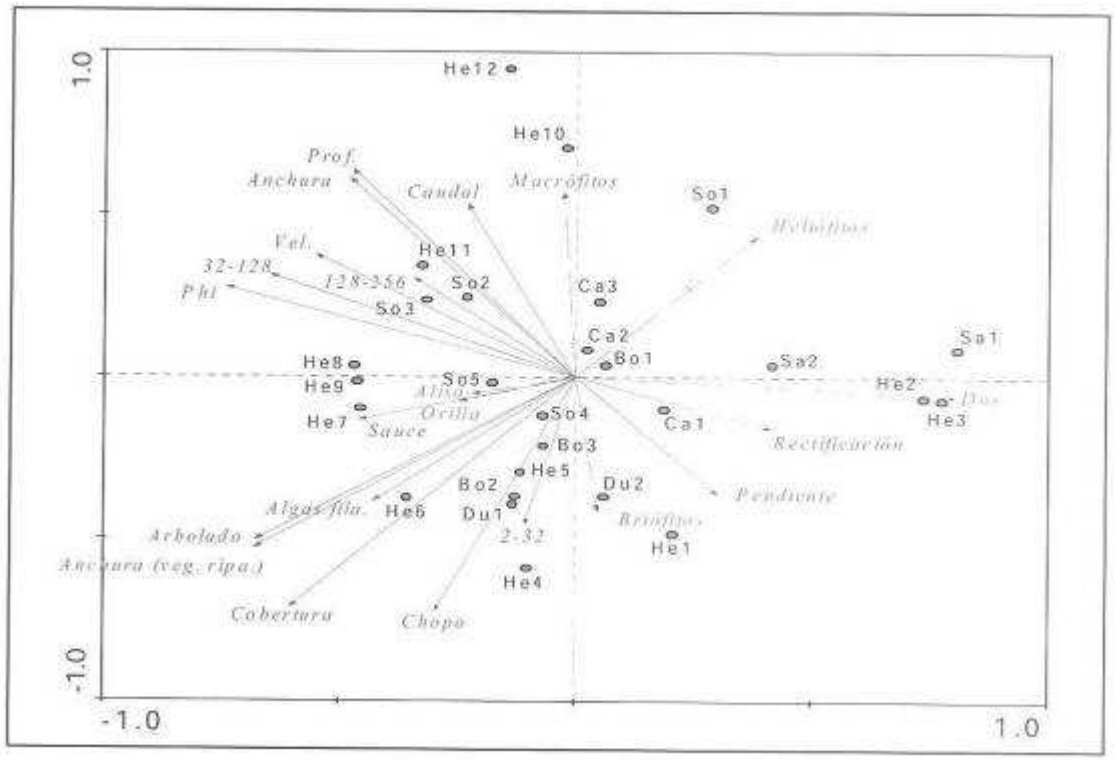

***Figura** 7. Ordenación de las variables que describen la morfología del cauce, la granulometría del lecho, la hidrología, la estructura y cobertura de la vegetación riparia y la proporción de vegetación acuática en los 27 tramos fluviales.*

Se pueden distinguir al menos tres gradientes, que corresponden a diferentes situaciones ambientales. Hay un grupo de tramos con muy escasa vegetación riparia (sustituida por helófitos), arenizados y rectificados, que se encuentran principalmente en el tramo alto del Henares (He2 y He3) y se extienden por todo el río Salado. En otra dirección, los tramos del Henares aguas abajo de Guadalajara (He10 a He12) presentan una vegetación riparia poco desarrollada, pero son tramos bajos: anchos, caudalosos y profundos, con corriente elevada y sustrato más grueso. Finalmente, los tramos con mayor desarrollo de la vegetación riparia se reparten en dos grupos: los tramos y afluentes de la cabecera del Henares con pequeño caudal, mayor presencia de chopo en las riberas y sustrato de grava (son He1, He4, Du1 y Du2); y los tramos medios del Henares, de mayor tamaño y granulometría más gruesa (He6 a He9). Los tramos del Sorbe aparecen dispersos, lo cual muestra la individualidad de cada tramo, salvo el tramo superior del Sorbe, singular por la práctica ausencia de vegetación riparia. Finalmente, los tramos del Cañamares están próximos al centro de la ordenación, sin mostrar en su conjunto afinidades o tendencias claras, y los tramos del Bornova bajo la presa de Alcorlo se orientan hacia los tramo bajos del Henares, sin duda por su anchura, aunque su caudal es muy variable debido a la gestión del agua embalsada.

Atendiendo a la vegetación acuática, los macrófitos sólo son abundantes en algunos tramos medios y bajos del curso principal del Henares, y los musgos y hepáticas se encuentran en las cabeceras del Henares con cierto desarrollo de la vegetación riparia.

Luz incidente y detritos vegetales:

La luz incidente y la materia orgánica son las fuentes de materia y energía para los organismos acuáticos. La luz que alcanza el tramo fluvial depende de varios factores: la orientación del tramo, la topografía circundante, la cobertura de la vegetación riparia, la anchura del tramo o la época del año. La abundancia de detritos vegetales depende sobre todo de la cobertura de la vegetación riparia, pero también del tamaño y caudal del río, pues cuanto mayor sean éstos, mayor es el arrastre de los detritos. La materia orgánica disuelta, más difícilmente cuantificable, parece ser abundante en todos los cursos fluviales, y quizá es la forma en que se encuentra la mayoría de la materia orgánica en todos los tramos fluviales.

En Figura 8 se representa la abertura de la bóveda celeste observada desde el centro geométrico de los 27 tramos fluviales y una estima de la luz incidente en estos mismos tramos en las cuatro estaciones del año. Puede observarse que en tramos donde la vegetación riparia es escasa (So1, He10, He12, Ca3) la abertura al cielo es homogénea a lo largo de todo el año y la luz que alcanza el río es máxima en verano, siguiendo el comportamiento de la radiación solar. En tramos con una densa cobertura arbórea, la abertura al cielo varia estacionalmente (He1, He4, Du1, Du2, He6) y los valores de luz se equilibran, de modo que no hay un máximo acusado en verano.

No disponemos de datos sobre la abundancia de detritos vegetales en cada tramo. Sin embargo, éstos han de guardar una relación con la cobertura de la vegetación riparia y probablemente también están correlacionados con la abertura de la bóveda celeste. Así pues, deben de ser particularmente abundantes en las cabeceras de la región caliza donde haya una densa vegetación riparia, y al mismo tiempo, bajo caudal y baja velocidad de la corriente (He1, Du1 y Du2).

Físico-química de las aguas:

La físico-química de las aguas determina la calidad del hábitat físico para la vida acuática, pues el agua es el medio en que están inmersos todos los organismos acuáticos. Tradicionalmente, el análisis de la físico-química de las aguas había sido la única herramienta utilizada para valorar el estado de conservación del medio acuático, pero a mediados del siglo pasado se puso de manifiesto la insuficiencia de su uso exclusivo. Actualmente es analizada como un elemento más del hábitat fluvial mediante métodos y técnicas analíticas estandarizadas.

Para describir sencillamente la calidad del agua se suelen determinar la concentración de nutrientes, la conductividad, la alcalinidad, el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez y la temperatura. Los nutrientes inorgánicos son las moléculas de que parten los productores primarios para la síntesis de materia orgánica; por tanto, son esenciales para la vida acuática. En los ríos se encuentran normalmente en baja concentración, pues son rápidamente captados por los productores primarios, y en algunos casos, como el fosfato, son adsorbidos por el suelo, de modo que apenas se disuelven en el agua que se infiltra en la tierra y nutre los ríos. De hecho, la escasez de fosfato suele ser un factor limitante del crecimiento de los productores primarios.

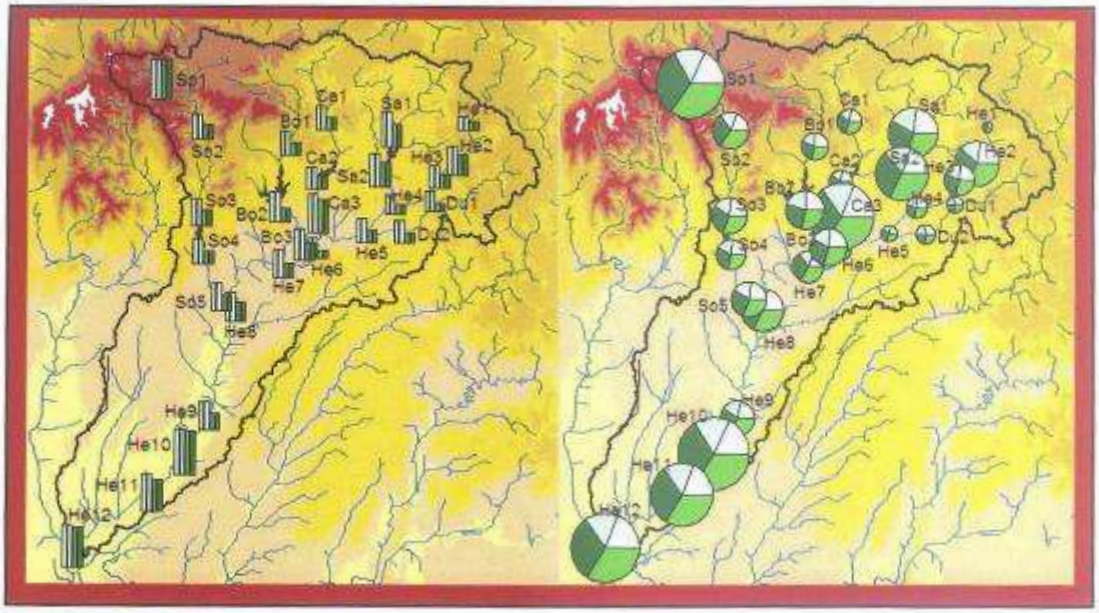

Figura 8. *Izquierda, abertura en cada tramo de la bóveda (%) en otoño (gris), invierno (blanco), primavera (verde claro) y verano (verde oscuro). Derecha, luz incidente (moles/m^2·día) en cada tramo en las mismas cuatro estaciones (diámetro de los círculos proporcional a la luz incidente total).*

Los otros nutrientes inorgánicos importantes son compuestos nitrogenados (nitrato, nitrito y amonio) que pueden transformarse entre sí en ciertas condiciones, e incluso actuar como factor limitante cuando su concentración total (NT) es baja respecto a la concentración total de fósforo (PT). Cuando las concentraciones de nutrientes son muy elevadas en un río cabe sospechar la presencia de vertidos de aguas residuales, sin depurar o depuradas insuficientemente.

La conductividad, por su parte, refleja las concentraciones de iones en el agua, que se correlaciona con la concentración de sales. Los iones mayoritarios en las aguas continentales suelen ser carbonatos (HCO_3^-, $CO_3^=$), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), pero en ciertas condiciones los iones cloruro (Cl^-), sulfato ($SO_4^=$), sodio (Na^+) y potasio (K^+) son también importantes. Otros iones aparecen usualmente en concentraciones menores, lo cual no quiere decir que no sean importantes para los organismos acuáticos, que necesitan numerosos oligoelementos (elementos en concentraciones minúsculas) para su actividad metabólica. Cuando la conductividad es muy elevada cabe pensar en la presencia de un sustrato muy soluble o en vertidos de aguas residuales, usualmente cargados de sales (Na^+ y Cl^-, por ejemplo).

El pH indica la concentración de protones de hidrógeno y define las condiciones para el metabolismo de los organismos. Hay pH ácido (<7), neutro (7) y básico (>7), y cada organismo tiene un rango de pH en que se encuentra a gusto. Aunque el pH puede variar mucho, valores entre 7 y 8,5 son los habituales en la cuenca del Henares.

Tabla 4. *Valor promedio y desviación estándar de las variables físico-químicas en los 27 tramos fluviales estudiados.*

Tramo	pH	T^a (°C)	Oxígeno (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Fosfatos (mg/L PO4-P)	Nitratos (mg/L NO3-N)	Amonio (mg/L NH4-N)	Nitritos (mg/L NO2-N)	Sulfatos (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$)
He1	7,94 ± 0,19	11 ± 2,1	9,12 ± 1,14	553,7 ± 71,3	0,93 ± 0,74	0,02 ± 0,02	2,27 ± 1,61	0,05 ± 0,06	0 ± 0	58,6 ± 30,6	30 ± 16	80 ± 17	5,6 ± 1,7	249 ± 11
He2	8,16 ± 0,12	9,6 ± 4	10,6 ± 1,64	986,9 ± 275,5	5,58 ± 4,65	0,04 ± 0,03	1,63 ± 0,75	0,08 ± 0,07	0,01 ± 0,01	249 ± 106	36 ± 12	120 ± 25	114 ± 52,6	243 ± 21
He3	7,73 ± 0,22	13 ± 4,6	2,13 ± 2,14	1.450 ± 253,1	40,5 ± 36,5	1,34 ± 0,87	1,02 ± 0,87	5,35 ± 3,00	0,09 ± 0,08	226 ± 137	40 ± 9,3	114 ± 29	253 ± 74,8	243 ± 53
He4	8,19 ± 0,08	12 ± 3,5	9,66 ± 1,33	1.048 ± 121,2	3,03 ± 1,51	0,56 ± 0,24	2,61 ± 0,88	0,24 ± 0,16	0,08 ± 0,03	164 ± 52,3	34 ± 7,7	111 ± 23	142 ± 40	259 ± 21
He5	8,3 ± 0,12	12 ± 4,8	9,83 ± 1,23	1.060 ± 198,2	9,43 ± 4,49	0,14 ± 0,06	2,07 ± 0,54	0,07 ± 0,05	0,04 ± 0,06	187 ± 49,7	30 ± 7,6	119 ± 18	145 ± 79,7	236 ± 40
He6	8,12 ± 0,14	12 ± 4	9,43 ± 1,9	1.065 ± 265,3	13,8 ± 8,72	0,06 ± 0,03	1,79 ± 0,68	0,06 ± 0,06	0,01 ± 0	251 ± 95,4	28 ± 12	128 ± 57	108 ± 74,7	214 ± 44
He7	8,13 ± 0,09	12 ± 3,4	10,5 ± 2,27	941,8 ± 408,5	14,2 ± 10,9	0,06 ± 0,03	1,98 ± 0,92	0,09 ± 0,05	0,02 ± 0,01	244 ± 115	26 ± 14	113 ± 56	106 ± 94,5	202 ± 47
He8	8,31 ± 0,13	14 ± 5,1	11,4 ± 2,03	914,2 ± 321,2	10,9 ± 8,33	0,05 ± 0,03	1,77 ± 0,73	0,09 ± 0,06	0,01 ± 0	263 ± 108	22 ± 12	118 ± 56	78,1 ± 73,2	184 ± 32
He9	8,19 ± 0,11	14 ± 5,9	10,2 ± 1,83	952 ± 190,3	16,2 ± 10,4	0,08 ± 0,05	3,07 ± 0,92	0,17 ± 0,15	0,02 ± 0,01	238 ± 78,2	30 ± 12	114 ± 44	77,6 ± 49,3	206 ± 46
He10	7,8 ± 0,14	15 ± 6,2	5,21 ± 1,57	963,3 ± 162,6	3,19 ± 2,23	0,95 ± 0,65	1,77 ± 0,72	3,18 ± 1,95	0,22 ± 0,24	235 ± 83,8	30 ± 12	103 ± 39	85,6 ± 38,4	226 ± 29
He11	7,77 ± 0,24	15 ± 6	5,28 ± 1,95	984,2 ± 122,5	14 ± 11,1	0,71 ± 0,34	2,46 ± 0,49	2,04 ± 0,61	0,19 ± 0,07	249 ± 95,6	27 ± 13	106 ± 40	79,1 ± 35	212 ± 59
He12	7,87 ± 0,14	15 ± 6,1	6,21 ± 1,81	1002 ± 149,7	9,81 ± 6,34	1,36 ± 1,12	3,3 ± 0,88	3,47 ± 1,23	0,35 ± 0,2	219 ± 51,7	35 ± 5,8	106 ± 21	87,8 ± 33,6	232 ± 23
Du1	8,17 ± 0,12	11 ± 3,7	9,71 ± 2,44	774,8 ± 118,2	1,12 ± 0,84	0,03 ± 0,03	1,52 ± 1,47	0,09 ± 0,12	0,01 ± 0,01	156 ± 42,6	27 ± 11	95 ± 31	44,5 ± 9,3	232 ± 19
Du2	8,2 ± 0,09	13 ± 2,3	10,1 ± 1,22	554,9 ± 43,9	1,46 ± 0,61	0,02 ± 0,01	2,48 ± 0,64	0,07 ± 0,05	0,01 ± 0,01	59,7 ± 45,3	26 ± 6	82 ± 8,8	21,4 ± 8,8	237 ± 12
Sa1	8,24 ± 0,17	13 ± 5,5	12,5 ± 1,7	5.584 ± 1757	3,21 ± 2,55	0,03 ± 0,03	0,72 ± 0,84	0,07 ± 0,07	0 ± 0	733 ± 312	94 ± 36	203 ± 69	1724 ± 815	239 ± 24
Sa2	8,16 ± 0,11	13 ± 6,2	10,9 ± 1,28	2.770 ± 1722	4,72 ± 3,19	0,03 ± 0,03	0,7 ± 0,55	0,07 ± 0,05	0 ± 0	380 ± 165	64 ± 22	156 ± 39	597 ± 370	242 ± 32
Ca1	8,3 ± 0,25	12 ± 4,6	10,8 ± 1,99	883,6 ± 107	13,3 ± 30,4	0,01 ± 0,01	0,77 ± 0,57	0,07 ± 0,06	0 ± 0	181 ± 41,6	34 ± 13	93 ± 32	70,9 ± 29,7	192 ± 16
Ca2	8,16 ± 0,14	12 ± 4,6	9,51 ± 1,35	538,3 ± 30,5	16,9 ± 11,1	0,02 ± 0,01	0,54 ± 0,33	0,09 ± 0,09	0,01 ± 0,01	124 ± 28,5	25 ± 11	58 ± 11	37,4 ± 3	133 ± 9,2
Ca3	8,31 ± 0,11	12 ± 4,2	10,8 ± 1,97	596,1 ± 33,4	12,1 ± 9,69	0,01 ± 0,02	0,88 ± 0,65	0,05 ± 0,03	0,01 ± 0,01	141 ± 31,2	23 ± 8,1	80 ± 29	32 ± 9	168 ± 37
Bo1	8,41 ± 0,2	11 ± 4,1	11,1 ± 1,14	212 ± 47,7	1,6 ± 1,27	0,02 ± 0,01	0,78 ± 0,9	0,06 ± 0,05	0 ± 0	16,3 ± 19	10 ± 3,9	32 ± 5	2 ± 0,9	115 ± 62
Bo2	8,02 ± 0,16	11 ± 1,6	10,6 ± 0,56	242,9 ± 60,1	3,68 ± 2,23	0,07 ± 0,12	1,02 ± 0,4	0,08 ± 0,05	0,01 ± 0	20,6 ± 25,4	12 ± 4,9	35 ± 13	2,9 ± 2,1	114 ± 30
Bo3	8,1 ± 0,19	12 ± 2,6	11,2 ± 1,3	507 ± 180,7	1,62 ± 1,89	0,02 ± 0,02	2,13 ± 1,28	0,09 ± 0,09	0,01 ± 0,01	145 ± 87,3	18 ± 8,8	82 ± 37	8,1 ± 4,7	171 ± 55
So1	7,77 ± 0,35	14 ± 7,2	9,71 ± 1,58	41,2 ± 54,2	1,16 ± 1,6	0,02 ± 0,01	0,37 ± 0,4	0,03 ± 0,03	0 ± 0	37,4 ± 51,2	5,6 ± 10	2,8 ± 1,6	1,1 ± 0,8	8,2 ± 2,6
So2	7,87 ± 0,27	11 ± 5,9	10,2 ± 1,98	84,1 ± 33,5	1,94 ± 4,04	0,02 ± 0,01	0,64 ± 0,63	0,05 ± 0,06	0 ± 0	13,9 ± 13,8	5 ± 4,7	12 ± 4,7	1,5 ± 0,7	39 ± 17
So3	7,73 ± 0,26	12 ± 5,1	10,5 ± 1,79	63,2 ± 17,6	1,59 ± 1,92	0,02 ± 0,02	0,58 ± 0,79	0,05 ± 0,07	0 ± 0	19,2 ± 22,5	4,5 ± 4,4	9,5 ± 4,3	1,3 ± 0,5	30 ± 12
So4	8,01 ± 0,29	11 ± 3,4	11,2 ± 1,25	106,2 ± 16,4	2,7 ± 1,28	0,01 ± 0,01	0,44 ± 0,47	0,05 ± 0,07	0 ± 0	22 ± 45,1	4,6 ± 2,2	15 ± 3,7	1,5 ± 0,8	47 ± 11
So5	7,94 ± 0,19	12 ± 4,5	10,3 ± 1,14	412,9 ± 98,8	8,6 ± 6,1	0,01 ± 0,01	0,53 ± 0,42	0,04 ± 0,04	0 ± 0	136 ± 50,2	8,7 ± 5,8	66 ± 29	8,2 ± 4,6	88 ± 19

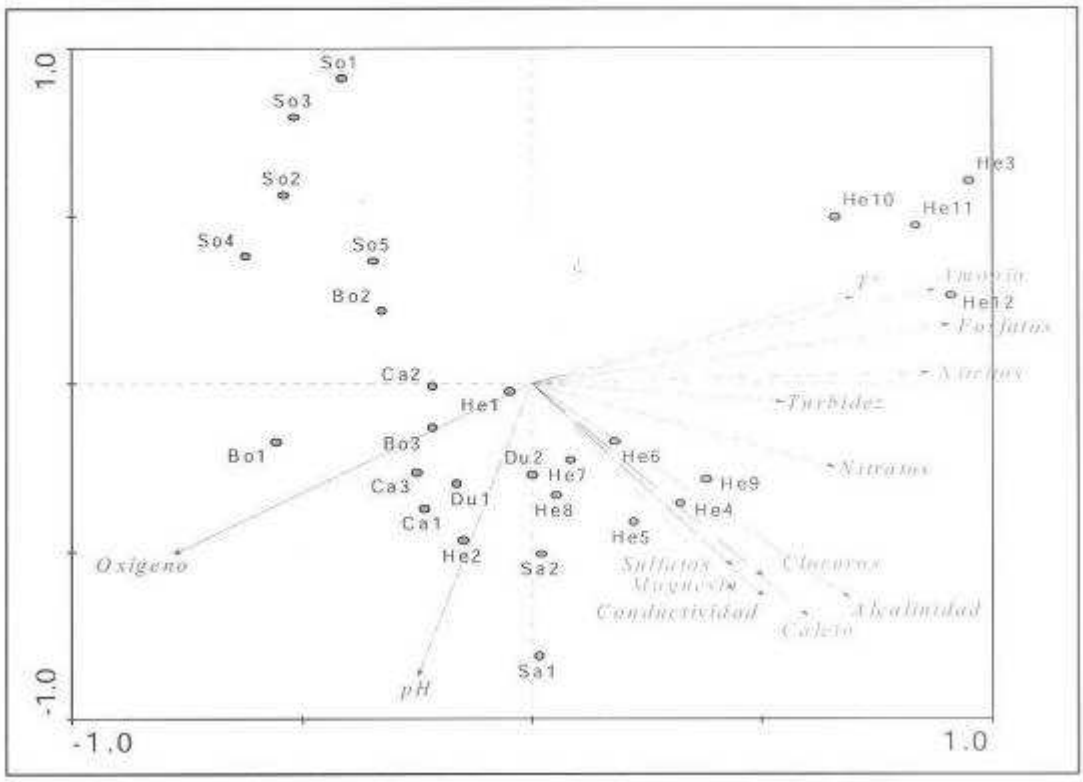

Figura 9. *Ordenación de las variables físico-químicas y de los 27 tramos fluviales.*

Los tramos del río Henares situados aguas abajo de Guadalajara (He10 a He12) tienen una baja concentración de oxígeno (en torno a 5,5 mg/L), elevada concentración de nutrientes (en torno a 1 mg/L de fosfatos y 2-3,5 mg/L amonio), bajo pH (<8) y temperatura elevada (15 °C aprox.). A estos tramos se asocia el tramo del Henares situado aguas abajo de Sigüenza (He3), donde se acusa la deficiencia de oxígeno (2,13 mg/L) y la elevada concentración de amonio (5,35 mg/L). Este tramo se diferencia mucho de los tramos geográficamente próximos, lo cual evidencia, como se verá, el efecto de los vertidos de Sigüenza sobre la físico-química de las aguas. Los tramos restantes del Henares, a excepción de los dos primeros (He1 y He2), muestran con menor intensidad similares caracteres (baja concentración de oxígeno, elevada concentración de nutrientes y temperatura elevada). En la situación opuesta se encuentran los tramos del Sorbe y del Bornova, sobresaturados de oxígeno, con bajas concentraciones de nutrientes (0,01 a 0,05 mg/L de fosfatos y unos 0,05 mg/L de amonio) y bajas temperaturas (10-12 °C).

El segundo eje despliega las diferencias en las concentraciones iónicas y el pH. Las concentraciones iónicas aumentan desde la cabecera del Sorbe (41 µS/cm) hasta su desembocadura (413 µS/cm); son algo superiores en el curso del Bornova (212 a 507 µS/cm); y claramente más elevadas en el Henares, donde tienen similar valor a lo largo de todo su curso (en torno a 1.000 µS/cm), salvo el primer tramo (He1), donde son más bajas (554 µS/cm), y el tramo bajo Sigüenza (He3), con valores más elevados (1450 µS/cm). La conductividad es particularmente alta en los tramos del río Salado (5.584 y 2.770 µS/cm).

Curiosamente, tanto los tramos del Sorbe como los tramos del Henares aguas abajo de Guadalajara y el tramo bajo Sigüenza convergen en el pH, menor que 8, pero por causas bien distintas: la litología silícea en el Sorbe y la contaminación en el Henares. En el tramo alto y medio del Henares el pH oscila entre 8,1 y 8,3, aunque es algo inferior en el primer tramo (He1). La alcalinidad es también muy similar a lo largo de todo el río Henares, en el Dulce y en el Salado (200 a 250 mg/L), pero es menor en los demás ríos: el Cañamares (133 a 192), el Bornova (115 a 171) y el Sorbe (8 a 88) (en éste último aumenta claramente del nacimiento a la desembocadura).

Finalmente, la turbidez y la concentración de nitratos son particularmente elevadas en el río Henares (hasta 40 NTU en el tramo bajo Sigüenza; de 1 a 3 mg/L de nitratos), con la excepción del primer tramo, siempre muy singular (He1). En la situación opuesta se encuentran de nuevo los tramos del Sorbe (siempre menos de 1 NTU y menos de 1 mg/L de nitratos) y, menos acusadamente, los del Bornova.

Los tramos del río Dulce y del río Cañamares se encuentran en la zona central de la ordenación. Sus características físico-químicas se asemejan a las del río Henares, pero en general, presentan valores algo más bajos de conductividad (entre 500 y 900 µS/cm), mientras que los tramos del río Cañamares tiene una turbidez próxima a los valores más altos registrados en el río Henares (de 13 a 17 NTU).

Variación anual de la físico-química de las aguas:

Hemos señalado que, respecto a otros componentes del hábitat fluvial, el agua se encuentra en continuo movimiento, y por tanto presenta variaciones temporales continuas, a veces de gran magnitud. No hay espacio suficiente en este capítulo para exponer sus variaciones en todos los ríos de la cuenca del Henares, pero podemos examinar lo que ocurre a lo largo del propio río Henares.

En este río, la temperatura aumenta de noviembre a agosto y aumenta también de la cabecera a la desembocadura, de modo que las temperaturas máximas (en torno a los 20 °C) se registran durante el verano en los tramos bajos (He9 a He12). El primer tramo del Henares (He1) tiene ciertas particularidades por su proximidad a surgencias: experimenta menor variación térmica que los demás tramos y tiene menor turbidez (media 0,93 NTU) y conductividad (554 µS/cm); también el pH es ligeramente inferior (media 8) que en los tramos inferiores, cuando éstos no están fuertemente contaminados.

El tramo siguiente (He2) no tiene apenas vegetación riparia y está más expuesto a la intemperie, así que registra la temperatura mínima anual del Henares (3 °C en diciembre). Bajo este tramo se encuentra la ciudad de Sigüenza, que vierte sus aguas residuales sin depurar al río, alterando fuertemente la físico-química de las aguas, y lo mismo ocurre en el curso bajo del río Henares por los vertidos deficientemente depurados de las grandes poblaciones e industrias. La concentración de oxígeno disuelto y el pH presentan valores muy bajos tanto aguas abajo de Sigüenza (He3) como en el curso bajo del río Henares a partir de Guadalajara (He10 a He12), especialmente durante los meses de verano.

Otra consecuencia importante de los vertidos de Sigüenza es el drástico aumento de la turbidez media (41 NTU) y la conductividad (1.450 µS/cm).

En los tramos medios del Henares (He5 a He9), hacia los meses centrales del verano se dejan notar las sueltas de las presas para el riego: la turbidez aumenta y disminuyen la conductividad (entre 400 y 1.000 µS/cm) y la alcalinidad (<200 mg/L).

Respecto a los fosfatos y otros nutrientes, el patrón de variación temporal y longitudinal es complejo. Longitudinalmente presentan dos picos, uno aguas abajo de Sigüenza (promedio 1,35 mg/L) y otro aguas abajo de Guadalajara (promedio entre 0,7 y 1,36 mg/L).

Es importante resaltar que los vertidos de Sigüenza elevan tan fuertemente la concentración de nutrientes que a considerable distancia de esta ciudad, a 13 km en He4, todavía se registran valores elevados (media 0,56 mg/L). En los tramos situados más abajo (He5 a He9), los fosfatos disminuyen paulatinamente (valores inferiores a 0,10 mg/L), especialmente en los meses centrales del verano, probablemente debido a la suelta de agua realizada por las presas.

Finalmente, a partir de Guadalajara se incrementan de nuevo bruscamente (He10 a He12) por los vertidos urbanos e industriales. El patrón descrito para los fosfatos se repite, aproximadamente, para el amonio y los nitritos. Los nitratos, por último, presentan también un patrón complejo: bajo el vertido de Sigüenza disminuyen bruscamente (media 1 mg/L), lo cual puede relacionarse con la falta de oxígeno asociada al vertido de aguas residuales, y son algo mayores en el curso bajo (He9 a He12) que en cursos superiores.

Enlace de Fisiografía y Humanización con el Hábitat Fluvial

A lo largo de este capítulo hemos visto que la cuenca del río Henares se encuentra profundamente humanizada, y que esta humanización se ha adaptado a las características fisiográficas (topografía, geología y clima) de cada región. Además, ha sido posible sintetizar estas variaciones en unos pocos ejes, que tienen una interpretación y una expresión geográfica sencilla.

Ahora vamos a poner en conexión las condiciones ambientales del hábitat en cada tramo fluvial con las condiciones ambientales en la subcuenca correspondiente, y así compondremos la perspectiva propia de las comunidades acuáticas.

La ordenación mostrada en Figura 10 recoge en el plano factorial el 35% de la variación en las características ambientales del hábitat fluvial en los 27 tramos fluviales (ver Tablas 3 y 4) y la mayor parte (77%) de la relación de estas características con los componentes principales de la fisiografía y la humanización de las subcuencas. Además, la distribución de los tramos fluviales en el plano factorial reproduce de nuevo con notable exactitud su distribución geográfica (Figura 2), y por tanto puede interpretarse fácilmente en términos geográficos.

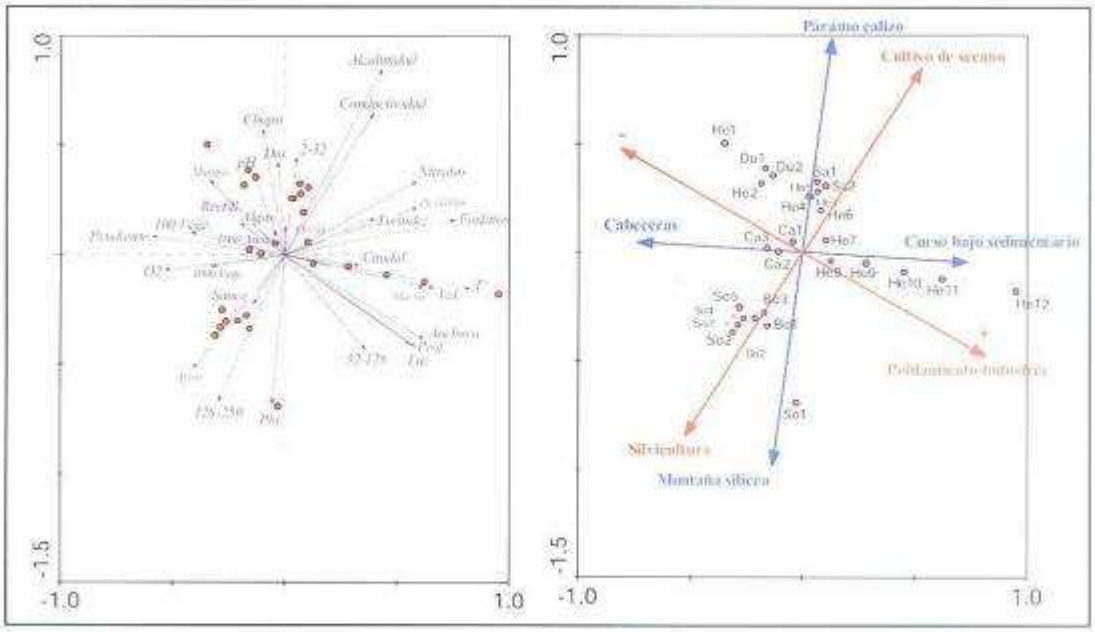

Figura 10. *Izquierda, ordenación de las variables que describen el hábitat fluvial en los 27 tramos estudiados; a la derecha, proyección en este plano de los ejes (componentes) principales de la fisiografía y la humanización.*

Como en los análisis anteriores, podemos distinguir en la cuenca del río Henares dos grandes ejes de variación. Uno representa las variaciones naturales entre el páramo calizo (Sierra Ministra) y la montaña silícea (Sierra de Ayllón), que han dado lugar variaciones paralelas en los usos agrosilvícolas en el tercio norte de la cuenca (de La Alcarria a la Sierra Pobre). Hay una evidente conexión, incluso en los nombres populares, entre la fisiografía y la humanización de estas dos regiones de la cuenca del Henares, que forman como dos grandes lóbulos al norte de la cuenca. Otro eje de variación representa el crecimiento hidrográfico de los ríos hacia su desembocadura, que es paralelo, lógicamente, al crecimiento de las cuencas hidrográficas y de la proporción sedimentaria de las mismas. Además, esta variación puramente hidrográfica conlleva un aumento de la población e industrialización de las cuencas, y también la aparición de embalses y regadíos. Esta tendencia es muy clara a lo largo del propio río Henares, y se extrema a partir de las proximidades de Guadalajara.

La región silícea de la cuenca engloba los tramos del río Sorbe y del río Bornova, situados sobre los embalses respectivos de Beleña y Alcorlo. Es una región particularmente montañosa que se extiende en la porción de la Sierra de Ayllón (o Sierra Pobre) dentro de la Provincia de Guadalajara. Las aguas tienen en esta región bajas concentraciones iónicas (aguas blandas) y baja concentración de nutrientes (son oligotrofas), y el lecho fluvial está compuesto de grandes piedras, pues la roca silíceas es dura y poco soluble. En consonancia con los caracteres naturales de la región, los usos predominantes son agrosilvícolas: se explotan los bosques (pinares en las partes altas y encinares más abajo) y hay una importante cabaña bovina y caprina. En la vegetación riparia encontramos sobre todo sauces y alisos, pues los valles son estrechos y sólo localmente han sido utilizados para el cultivo de chopos. El tramo superior del Sorbe (So1) tiene concentraciones iónicas particularmente bajas, pues las aguas que lo

nutren tienen su origen parcialmente en la nieve fusionada, y el sustrato apenas permite la disolución de sales. Tiene también bajo pH y carece de vegetación riparia, sustituida por pastizales montanos, y por ello, en verano la temperatura es elevada y la concentración de oxígeno es relativamente baja. No hay apenas población en la cuenca, pero tiene una importante cabaña ganadera bovina y caprina.

Los tramos del Sorbe y del Bornova bajo los embalses experimentan ciertas variaciones ambientales. Ambos van haciéndose progresivamente sedimentarios hasta su desembocadura en el Henares y experimentan una reducción de caudal. En el caso del Bornova, el ciclo hidrológico está notablemente alterado, pues las sueltas de la presa se producen en primavera y verano para el riego de las regiones agrícolas situadas aguas abajo. Actualmente, las aguas del Sorbe son insuficientes para el abastecimiento humano, y las aguas del Bornova embalsadas en Alcorlo son también utilizadas para este fin.

El Cañamares queda entre la región caliza y la región silícea, y representa una situación de transición entre la fisiografía y la humanización de ambas.

La región caliza de la cuenca ocupa parte de la Sierra Ministra y de La Alcarria; engloba los tramos altos y medios del Henares (aproximadamente, He1 a He7) y los afluentes al curso alto, el Dulce y el Salado. Esta región tiene menor altitud y es más llana que la región silícea. Está extensamente cultivada de cereal, y donde el cultivo no es posible, es intensamente pastoreada por una importante cabaña ovina. Localmente, la cabaña porcina es también importante, pero está estabulada (Atienza). La litología caliza da lugar a aguas ricas en iones (aguas duras) y a un sustrato de gravas. Algunos tramos sufren intensamente los efectos perjudiciales de los usos agrícolas comunes en la región: la vegetación riparia ha sido totalmente eliminada y ha sido sustituida por una banda de helófitos (espadaña y carrizo), que ocasionalmente ciega todo el cauce; además, éste ha sido con frecuencia excavado y rectificado, el agua se ha derivado del río mediante acequias y el acceso de los sedimentos de los cultivos aledaños ha producido la arenización casi total del lecho. Esta situación es corriente en el curso alto del Henares y se da prácticamente en todo el Salado. Cuando la vegetación riparia no ha sido totalmente eliminada, tras una estrecha banda de sauces, en ocasiones ausente, las plantaciones de chopo se extienden a lo largo de las riberas. El Salado, además del fuerte deterioro general del cauce (vegetación riparia, sinuosidad y sustrato) tiene aguas prácticamente salobres debido a que recorre estratos salinos del Keuper.

El tramo más alto del río Henares (He1) representa una excepción en el curso principal del río por su proximidad a surgencias. Respecto a los demás tramos del Henares, tiene concentraciones iónicas menores y pH ligeramente inferior; las concentración de nutrientes son bajas, al igual que la turbidez; la vegetación riparia está bien desarrollada y el río se encuentra bien sombreado; la cuenca apenas está poblada, pero hay una importante cabaña ovina.

El río Henares alcanza su mayor tamaño y caudal tras la desembocadura del Sorbe. Poco después, con la aparición de Guadalajara a la ribera del río comienza un aumento exponencial de la población e industrialización de la cuenca, que continua a lo largo de todo el "Corredor del Henares" (Alcalá de Henares, Torrejón de Ardoz, San

Fernando de Henares). La vegetación riparia tiene en el curso bajo del río Henares escaso desarrollo y los helófitos son abundantes en las riberas. Los cauces están intensamente iluminados, tanto por la anchura del cauce como por la ausencia de vegetación riparia. Son tramos cálidos, con elevada concentración de nutrientes, baja concentración de oxígeno y bajo pH. Estas características físico-químicas evidencian la eutrofización de las aguas debido a los vertidos urbanos e industriales de las poblaciones e industrias que se concentran en el llamado "Corredor del Henares". Este deterioro de las condiciones ambientales se reproduce, extremado, en el tramo de la cabecera situado bajo la ciudad de Sigüenza, que vierte sus residuos sin depurar al río Henares, y casi sufre anoxia en verano.

Todo el curso del río Henares está afectado por el cultivo de la cuenca, que induce un aumento de las concentraciones de nitratos y la turbidez del agua, acentuado por las numerosas presas situadas en sus afluentes, especialmente en la época estival, cuando se suceden las sueltas para el riego. Casi todos los tramos de cuenca están afectados por este problema, del que sólo se libran los tramos de la región silícea situados sobre las presas.

Existe, pues, una conexión entre las condiciones ambientales de la cuenca hidrográfica y las condiciones del hábitat fluvial en que se desenvuelven las comunidades acuáticas. En cada tramo fluvial, la fisiografía y la humanización de la cuenca hidrográfica que lo nutre explican en diverso grado la morfología del cauce, la granulometría del lecho, la hidrología, la composición y cobertura de la vegetación riparia, la iluminación del cauce, la abundancia de detritos y la físico-química de las aguas.

Propuestas para una Recuperación Ambiental

Son muy numerosas las alteraciones que ha sufrido en su historia la cuenca del río Henares. Actualmente apenas podemos imaginar cuáles fueron sus condiciones originales, y desde luego, no sería posible volver a ellas. Algunas alteraciones del paisaje, como la deforestación y el cultivo, tienen un origen muy antiguo y afectan profundamente el ecosistema fluvial; otras, como el almacenamiento del agua en presas y la regulación de caudales, son relativamente recientes, pero afectan decisivamente al ecosistema fluvial. Es difícil imaginar las diferencias que hay entre un río regulado, circunscrito a un cauce más o menos estrecho todo el año, y un río natural, que se desborda periódicamente y ocupa temporalmente su llanura aluvial, dejando luego multitud de charcas y lagunas. Siquiera cuesta pensar que un día nos acerquemos al Henares y lo encontremos limpio y lleno de vida.

No obstante, es posible mejorar notablemente las condiciones ambientales actuales, tanto mediante el esfuerzo individual de cada persona (en el ahorro de agua, por ejemplo) como emprendiendo acciones más amplias, como la restauración de la morfología original del cauce, la depuración eficaz de las aguas, la restauración de la vegetación riparia o el respeto de un régimen hidrológico que satisfaga los requerimientos ecológicos del río. En este sentido, al menos estamos en condiciones de concretar algunas propuestas.

En Figura 11 se ofrece una clasificación elemental de la cuenca en regiones con diferentes problemas ambientales. Los tramos del Sorbe y el Bornova sobre los embalses (sombreados en verde) están relativamente bien conservados y deberían ser protegidos. Para ello bastaría ampliar la extensión de zonas que actualmente gozan de cierta protección. Además, habría que restaurar la vegetación en algunos tramos de esta región y sería recomendable depurar las aguas que vierten las pequeñas poblaciones de la zona.

Algunos tramos altos del páramo calcáreo (sombreados en crema) también están relativamente bien conservados (He1, Du1, Du2), pero al mismo tiempo hay otros tramos (He2) e incluso ríos enteros (río Salado) (sombreados en azul celeste) que están peor conservados. Para los primeros habría que ampliar la extensión de zonas que actualmente gozan de cierta protección y habría que depurar los pequeños vertidos de las poblaciones locales. La recuperación de los segundos requiere acabar con las prácticas de rectificación y drenaje de los cauces con maquinaria pesada, con la quema indiscriminada de la vegetación riparia y con el cultivo hasta la misma orilla del río; a continuación habría que emprender la restauración del cauce fluvial (sinuosidad, estabilidad de las orilla, granulometría del lecho, diversidad de hábitats) y de la vegetación riparia.

En esta misma región se producen vertidos devastadores sobre las comunidades acuáticas, como los de la localidad de Sigüenza (sombreado en rojo, hacia la cabecera del Henares), que mata literalmente el río Henares al poco de verlo nacer (He3). En este caso concreto, una depuración adecuada de todos los vertidos contaminantes sería suficiente para mejorar la penosa situación ambiental que lleva produciéndose durante bastantes años. Esta situación ha convertido el río Henares en algo semejante a una cloaca a cielo abierto aguas abajo de Sigüenza (ver Foto 9 en Capítulo IV). No obstante, la situación mejora con el aumento de la distancia a Sigüenza (He4, sombreado en verde oscuro), pues el río tiene cierta capacidad de recuperación gracias a su poder auto-depurador, y acaba asimilando los vertidos orgánicos dentro de su red trófica pero sin llegar nunca a recuperarse completamente.

Los tramos situados bajo las presas tienen un régimen hidrológico artificial, pero su efecto sobre el río depende de la presa (sombreados en rosa). La presa de Beleña, en el río Sorbe, reduce casi permanentemente el caudal del río, al derivar constantemente cierto caudal para el consumo humano, y amortigua las variaciones naturales en la físico-química del agua, pues el río se alimenta del fondo de la presa. Bajo las presas de Alcorlo y Palmaces, en los ríos Bornova y Cañamares respectivamente, el caudal varía mucho: sueles ser bajo, pero aumenta desmesuradamente durante las sueltas estivales para el riego. En todos estos tramos sería deseable que los regímenes hidrológicos se ajustasen mejor a los requerimientos ecológicos de las comunidades acuáticas.

El curso medio del río Henares (He5 a He8, sombreados en azul marino), que recorre buena parte de la región sedimentaria de la cuenca, sufre la regulación de caudales en sus afluentes; tiene contaminación difusa procedente de la extensa región agrícola que atraviesa y de los vertidos de pequeñas y medianas poblaciones; la vegetación riparia está muy degradada en ciertos tramos, y cuanto más, consiste en algunas plantaciones de chopos.

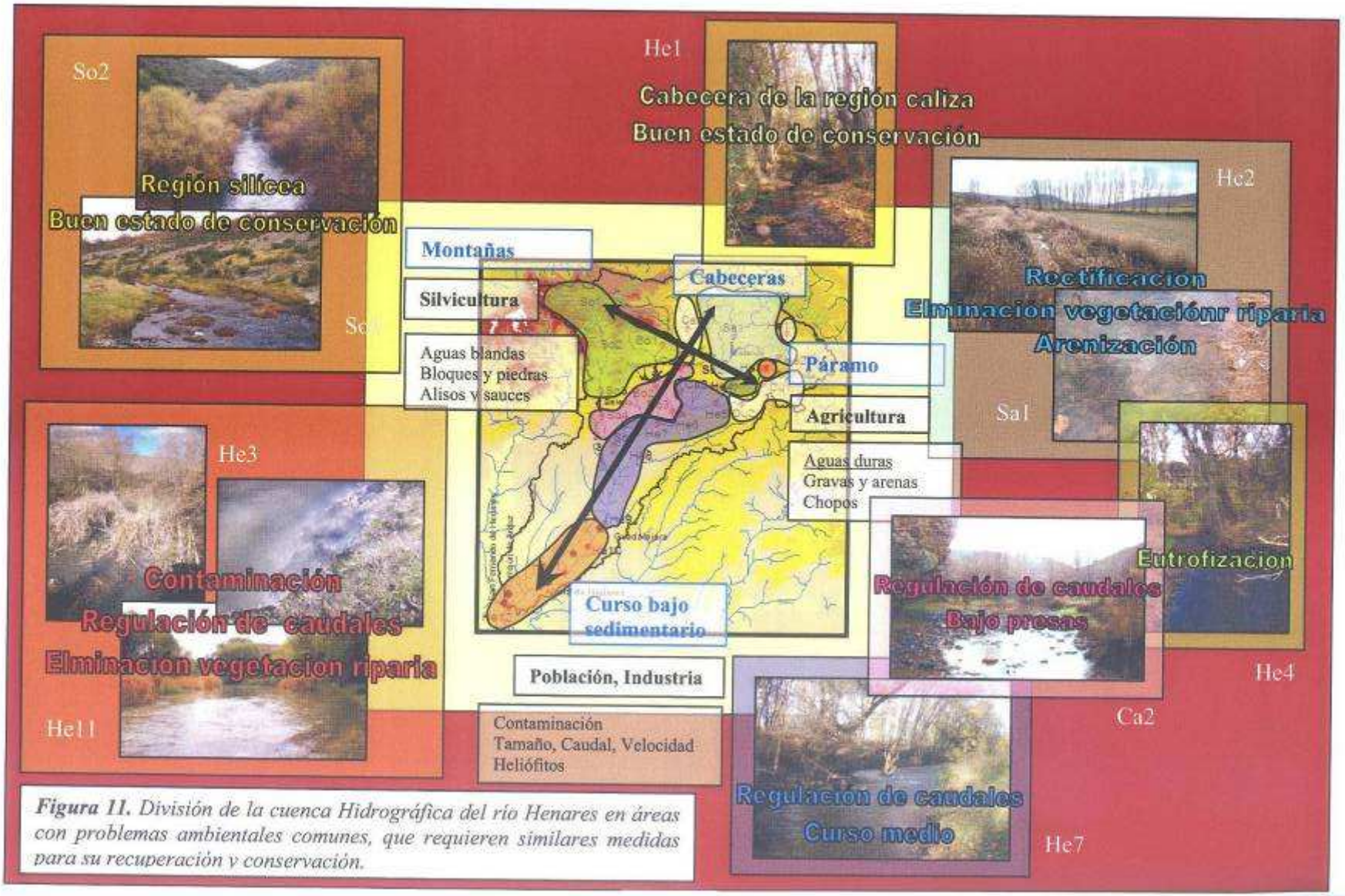

Figura 11. *División de la cuenca Hidrográfica del río Henares en áreas con problemas ambientales comunes, que requieren similares medidas para su recuperación y conservación.*

Es evidente que en toda la región habría que regular la fertilización de las tierras de labor, depurar mejor las aguas residuales de las poblaciones y, nuevamente, habría que ajustar los regímenes hidrológicos a los requerimientos ecológicos de las comunidades acuáticas. Finalmente, el curso bajo del Henares (He9 a He12, sombreado en rojo), desde las proximidades de Guadalajara hasta la desembocadura en el Jarama, recibe vertidos urbanos e industriales de las grandes ciudades de la cuenca (Guadalajara, Alcalá de Henares, Torrejón de Ardoz, San Fernando de Henares). Evidentemente, a este último tramo se le deberían aplicar cuantas medidas correctoras se han propuesto para el resto de la cuenca, pues aguas abajo se recoge aquello que se siembra aguas arriba, y habría que añadir una mejora en la depuración de las aguas residuales, que es actualmente insuficiente.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "análisis integrado de los ecosistemas representativos de la cuenca del río Henares: bases para una planificación con criterios ambientales" de la Universidad de Alcalá. También ha contribuido el proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un río contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Marcos de la Puente agradece a todo el Departamento de Ecología de la Universidad de Alcalá el apoyo recibido desde el comienzo de su tesis doctoral (1999). Además agradece a la Comunidad de Madrid la beca predoctoral que le concedió en 1999 por un periodo de cuatro años, así como las bolsas de viaje para realizar estancias cortas en Suiza y en EEUU. Finalmente, Julio A. Camargo, como director de la tesis doctoral de Marcos de la Puente, también quiere agradecer al Departamento de Ecología y a la Comunidad de Madrid todo el apoyo prestado, con la esperanza de que en este año de 2006 Marcos termine de escribir y presente su esperada tesis doctoral.

Bibliografía Recomendada

Allan J.D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.

A.P.H.A. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, USA.

Camargo J.A. 1993. Macrobenthic surveys as a valuable tool for assessing freshwater quality in the Iberian Peninsula. Environ. Monitor. Assess. 24: 71-90.

Hauer F.R., Lamberti G.A. (eds.) 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press, San Diego.

Hynes H.B.N. 1960. The Biology of Polluted Waters. Liverpool University Press, Liverpool.

Hynes H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters. The Blackburn Press (2001, Reprint of First Edition), Caldwell, New Yersey.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona.

Rosenberg D.M., Resh V.H., (eds.). 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, London.

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and Rivers Ecosystems, 3rd edition. Academic Press, San Diego.

VI. LOS MACROINVERTEBRADOS DEL BENTOS

Marcos de la Puente[1] y Julio A. Camargo[2]

[1]Liquen, Consultoría Ambiental, Madrid
[2]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá

Introducción

Quien no sepa de quiénes estamos hablando pensará que los macroinvertebrados bentónicos son otro grupo más de minúsculos bichos a los que un científico (que no está en este mundo) ha decidido dedicar su vida. Quien así piense, quizá estará agradecido por el sacrificio, pero, desde luego, estará bien seguro de que en su vida va a toparse con ellos. Sin embargo, es probable que ya los conozca, e incluso que alguna vez los haya tenido en sus manos.

Tras un día de campo particularmente caluroso, todos nos hemos acercado a la vera de un río para sumergir los pies en el agua y aliviar el calor de la jornada. Seguramente, algunos pececillos se aproximaron a mordisquearnos los pies, y al observarlos distraídamente, quizá percibiéramos, por el rabillo del ojo, leves movimientos de unos bastoncillos pegados a las piedras. ¡Misterio! Los más atrevidos tomaron uno de ellos en sus manos y otearon la abertura del pequeño canutillo, de piedrecillas y fragmentos vegetales. En su interior entrevieron la cabeza oscura de un bicho (bastante feo, todo hay que decirlo). Satisfecha la curiosidad, los más bondadosos, a pesar de la fealdad del bicho, o quizá por ella, lo devolvieron al río diciendo: ¡Vaya cosa rara!

Pues bien, aquel bicho era un macroinvertebrado bentónico; en particular, era una larva de tricóptero. El nombre de macroinvertebrado bentónico tiene una explicación elemental: es macro- pues si no lo fuera no lo habríamos visto, y es invertebrado porque no era, como el pez, el ave o el mamífero, un vertebrado; además, es bentónico porque habita el lecho de ríos, lagos, lagunas, charcas (*benthos* significa en griego profundidad, fondo). No obstante, es posible que nunca hayamos topado con una larva de tricóptero, pero es seguro que conocemos la sanguijuela, la libélula, el mosquito; todos ellos son macroinvertebrados y desarrollan una parte o la totalidad de su ciclo biológico en el medio acuático; además, muchas especies viven en el bentos.

Ya sabemos de quienes estamos hablando. No obstante, hay que formalizarse, y antes de seguir hay que dotar de cierto rigor a la definición de los macroinvertebrados bentónicos. Para ello debemos empezar por el principio y remontarnos al comienzo de la vida animal en los mares Precámbricos. Allí evolucionaron organismos multicelulares que tenían la facultad de capturar y consumir otros organismos: los animales.

Los primeros animales que dominaron ese medio acuático tenían cuerpos muy blandos, pero durante el advenimiento del periodo Cámbrico, hace unos 580 millones de años, se produjo una importante radiación adaptativa que dio lugar a la aparición de invertebrados con conchas y otras estructuras duras, de los que proceden muchos grupos de invertebrados actuales. Durante el largo proceso evolutivo también aparecieron los diversos grupos de vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Pero son los invertebrados los más numerosos y diversos, representando aproximadamente el 95% de las especies animales conocidas.

Junto a los macroinvertebrados bentónicos tradicionalmente se ha distinguido otros dos grupos de invertebrados acuáticos: el zooplancton y los microinvertebrados bentónicos. El zooplancton incluye los invertebrados de pequeño tamaño que viven suspendidos en la columna de agua (la pulga de agua, por ejemplo); los microinvertebrados bentónicos, aquellos invertebrados que habitan el lecho, pero, a diferencia de los macroinvertebrados, no son visibles sin métodos auxiliares de magnificación (nematodos y rotíferos, por ejemplo). La distinción entre esos tres grupos no es siempre clara, pues el rango de tamaño de los macroinvertebrados bentónicos es bastante amplio: desde décimas de milímetro los estadios juveniles de larvas de mosquito, hasta varios centímetros el cangrejo de río. Además, una misma especie multiplica varias veces su tamaño a lo largo del ciclo biológico y suele utilizar diferentes hábitats. Por ello, aunque la definición de macroinvertebrados bentónicos tiene un fundamento ecológico, en última instancia es necesario acotar el grupo apoyándose en la taxonomía.

Muchos macroinvertebrados bentónicos son insectos. Dentro de esta clase taxonómica hay órdenes con larvas exclusivamente acuáticas, como los tricópteros, efemerópteros y plecópteros; y órdenes que ocupan tanto el medio terrestre como el acuático, como los coleópteros, dípteros y hemípteros, pero con familias exclusivamente acuáticas. Otros grupos de macroinvertebrados bentónicos son bivalvos, gasterópodos, crustáceos, hirudíneos, oligoquetos, y turbelarios. Hay, finalmente, unos pocos grupos de invertebrados que sólo algunos autores incluyen entre los macroinvertebrados bentónicos: esponjas, hidras, nematodos, nematelmintos y briozoos. Evidentemente, tal variedad taxonómica incluye organismos con adaptaciones muy diversas.

Desde un punto de vista trófico, en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos hay que destacar, por su importancia, a los grupos de los raspadores, desmenuzadores, recolectores, filtradores, y depredadores. Los macroinvertebrados raspadores (gasterópodos, coleópteros como los élmidos, bastantes efemerópteros) se alimentan principalmente del perifiton; los macroinvertebrados desmenuzadores (anfípodos, numerosos tricópteros), recolectores (oligoquetos, muchos quironómidos) y filtradores (simúlidos, tricópteros de la familia Hydropsychidae, bivalvos) desempeñan un papel importante en el proceso de desmenuzamiento, descomposición y mineralización de la materia orgánica; finalmente, los macroinvertebrados depredadores (odonatos, sanguijuelas, planarias, plecópteros como los pérlidos) se alimentan de otros invertebrados y de pequeños animales, como renacuajos y alevines de peces. Los macroinvertebrados bentónicos utilizan, pues, un amplio espectro de recursos, ocupando un lugar central dentro de las cadenas y redes tróficas fluviales (Figura 1).

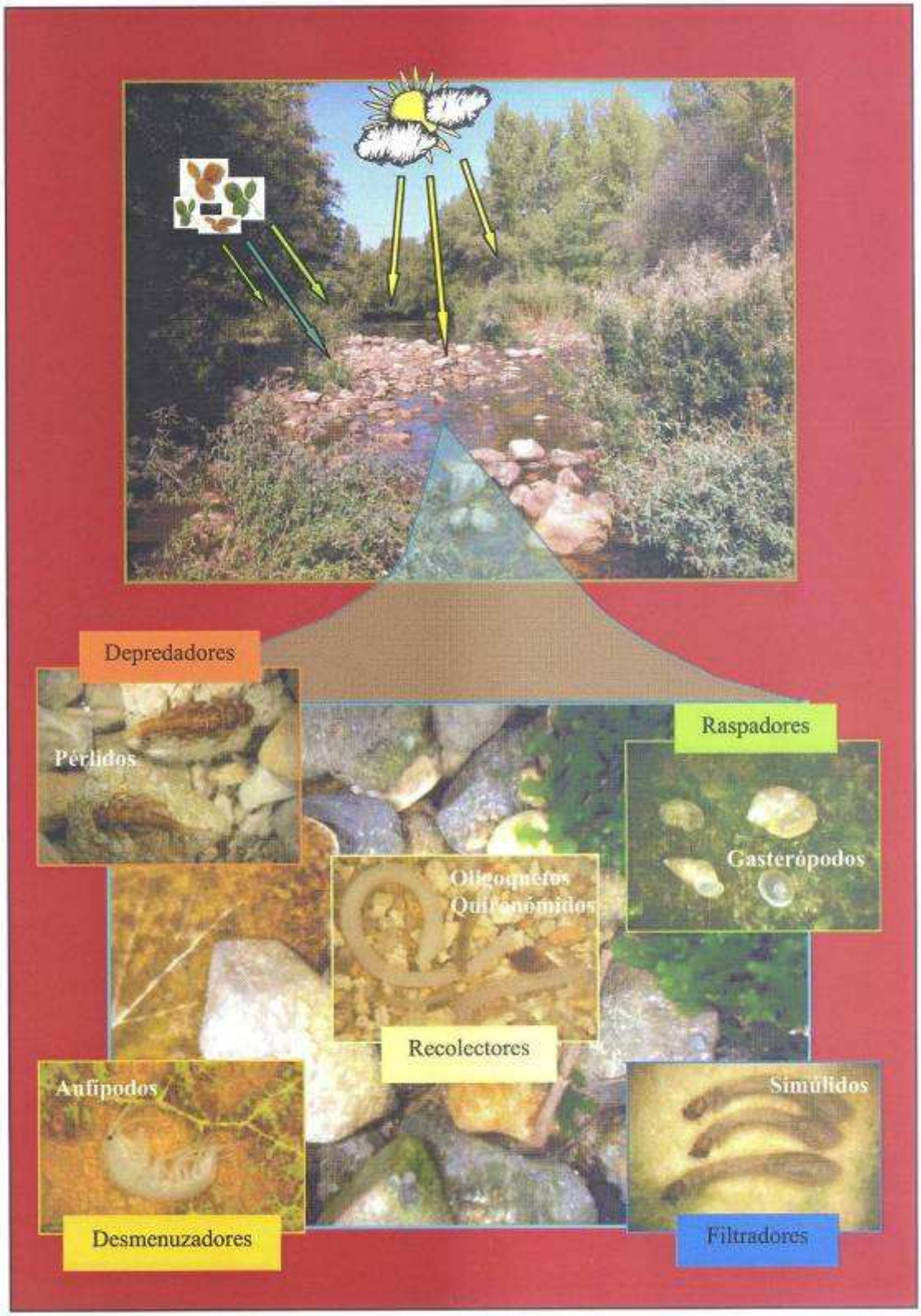

Figura 1. *Principales grupos tróficos de macroinvertebrados bentónicos en un tramo fluvial. Numerosos vertebrados, sobre todo peces, se alimentan a su vez de esta comunidad de invertebrados.*

Quizás alguien piense que, siendo tan pequeños, los macroinvertebrados bentónicos no pueden tener gran importancia para los ríos, y lo anterior es mera retórica. Para comprobarlo podemos hacer el experimento de eliminar imaginariamente del río los macroinvertebrados bentónicos, y, con espíritu detectivesco, reconstruir la secuencia de acontecimientos posterior. Imaginemos, por ejemplo, que nos asomamos a un puente del río Henares, y vemos, allá abajo, un par de truchas guarecidas en las márgenes del río. Al atardecer, vemos que se apartan de la orilla y se disponen cerca de la corriente, dispuestas a lanzarse sobre el primer animalillo que entre en su campo visual. Pero esta tarde es diferente, todo está en calma. No hay ninguna eclosión ni alimento que llevarse a la boca, ¿qué está pasando? Al amanecer hay calma total, pero ahora la inquietud es ansiedad y las truchas nadan sin precaución en busca de comida. Una garza, apostada en la margen derecha, captura una de ellas. La trucha superviviente nada río abajo y desaparece (no sabremos más de ella). En el fondo del río, un pececillo extremadamente tranquilo, el gobio, por primera vez en su vida ha empezado a sentirse agobiado, y se aventura más de la cuenta en busca de alimento. Un martín pescador aprovecha el desconcierto. En poco tiempo ya no quedan peces y La garza y el martín pescador se van. Queda un gran vacío, un extraño silencio. Quizá la realidad no fuera tan dramática como la hemos pintado, pero, desde luego, el río tendría otro aspecto si no hubiera macroinvertebrados bentónicos.

Además de las adaptaciones tróficas, que les confieren esa posición central en la red trófica acuática, los macroinvertebrados bentónicos tienen otras muchas adaptaciones (biológicas, fisiológicas y ecológicas) que les han permitido ocupar los diferentes hábitats acuáticos. No obstante, cada hábitat acuático tiene características ambientales particulares, que condicionan la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Condicionan, desde luego, la composición taxonómica de la comunidad, pues cada especie tiene un rango limitado de adaptaciones y estrategias. Por otra parte, el conjunto de los taxones presentes en cada hábitat representa una riqueza, que se reduce cuando las condiciones ambientales son desfavorables para la vida. Y a su vez, la riqueza ponderada según la abundancia de cada taxón representa una diversidad, que también depende de las condiciones ambientales. Los organismos tienen una biomasa, que varía a lo largo del ciclo biológico y depende, nuevamente, de las condiciones ambientales (como la disponibilidad de alimento). La variación de la biomasa con el tiempo, finalmente, da lugar a una producción, de la que se alimenta, por ejemplo, la población de peces insectívoros (la trucha y el gobio).

La relación que existe entre estas características de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (composición, riqueza, diversidad, biomasa, producción) y las condiciones ambientales del hábitat se ha estudiado extensamente y, en algunos casos, es bien conocida. Este conocimiento ha permitido utilizar lo macroinvertebrados bentónicos como indicadores del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, el aumento desproporcionado de macroinvertebrados colectores indica condiciones sedimentarias y elevada abundancia de detritos finos, frecuentemente asociados a su vez a vertidos de aguas residuales. Ciertos índices cuantifican sistemáticamente la sensibilidad de las familias de macroinvertebrados bentónicos a la polución orgánica y utilizan la suma de esta sensibilidad cuantificada para valorar el estado ecológico de los ríos (t-BMWQ y a-BMWQ, por ejemplo).

Como vemos, los macroinvertebrados bentónicos pertenecen a diversos grupos taxonómicos, pero tienen dos notas comunes: habitan el lecho o bentos del medio acuático y tienen un tamaño macroscópico. El conjunto de ellos cuenta con una amplia variedad de adaptaciones, que les ha permitido ocupar todos los ambientes acuáticos y les confiere un lugar central en las redes tróficas acuáticas. El conjunto de macroinvertebrados bentónicos presente en un cierto hábitat forma una comunidad, cuya composición taxonómica, estructura trófica y perfil estratégico-adaptativo depende de las condiciones ambientales. Cualquier cambio en las características ambientales implicará un cambio en la comunidad, que puede tener un valor ecológico positivo o negativo según sea la variación de la riqueza y la diversidad (habitualmente, el aumento de ambas indica una mejora de las condiciones ambientales). La valoración de estos cambios se ha sintetizado mediante numerosos índices (como el t-BMWQ o el a-BMWQ).

En este capítulo vamos a examinar los principales atributos de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Henares: composición taxonómica; estructura trófica; riqueza, diversidad y dominancia; perfiles estratégico-adaptativos. Vamos a enlazar estos atributos con las principales variaciones del hábitat fluvial, ya sean naturales o producto de alguna acción humana, tanto en el tramo fluvial como en la cuenca hidrográfica. Como en el estudio del hábitat fluvial (Capítulo V), vamos a introducirnos en el río, pero esta vez vamos a fijar nuestra atención en los macroinvertebrados bentónicos.

Metodología

En esta segunda inmersión hemos utilizado de nuevo una metodología científica y hemos partido de los mismos 27 tramos fluviales que nos permitieron conocer las principales características del hábitat fluvial en la cuenca del Henares (ver Capítulo V).

Hemos limitado el estudio a los rápidos del río, que tienen mayor riqueza y diversidad que las pozas y remansos (hábitats lénticos) y son particularmente sensibles a la degradación ambiental. Como las características de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos varían notablemente dentro de un mismo rápido, no pueden conocerse en términos absolutos y hay que estimarlas. Para ello hemos tomado 4 muestras de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en cada tramo fluvial, y hemos repetido el muestreo estacionalmente del invierno de 1999 al otoño de 2000. De esta manera esperamos haber recogido tanto las variaciones dentro de cada tramo como las variaciones anuales. Para el muestreo utilizamos un artilugio especialmente diseñado para muestrear en rápidos, que permite obtener estimas de abundancia por unidad de superficie (densidad): el muestreador Hess. Este aparato consiste en un cilindro con una abertura lateral dotada de una red receptora (250 µm de luz) (Foto 2 en Capítulo VII). Para tomar la muestra accedimos al punto de muestreo caminando aguas arriba para evitar perturbar la zona; a continuación aplicamos el cilindro al lecho y removimos manualmente el sustrato del interior del Hess, de modo que se pusiera en suspensión la materia del lecho (sustrato mineral, materia orgánica e invertebrados). La propia corriente arrastra la materia en suspensión al interior de la red, y sólo queda trasladar la muestra a un recipiente y preservarla hasta su procesamiento.

En el laboratorio identificamos los organismos al nivel de género o especie (ocasionalmente familia) y cuantificamos su abundancia (densidad: individuos/m^2) en cada una de las muestras. A partir de esta información calculamos las características de las 27 comunidades estudiadas.

Abundancia

La densidad media de los macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Henares varía notablemente de unos tramos a otros (Tabla 1). En la región silícea la densidad no alcanza 1 ind./cm^2, especialmente en los tramos del Sorbe situados sobre la presa de Beleña (4.500 - 7.200 ind./m^2 de So1 a So3), quizá debido a que la aguas son pobres en nutrientes y la producción primaria es baja, y, en consecuencia, el río puede sostener pocos macroinvertebrados por unidad de superficie. En los tramos siguientes de este río (So4 y So5) la densidad aumenta (14.000 - 19.000 ind./m^2), pero sigue por debajo de la media de la cuenca (40.400 ind./m^2). En el río Salado las densidades son algo mayores (20.300 - 29.250 ind./m^2), pero también alejadas de la media de la cuenca debido probablemente a que las aguas presentan una conductividad elevada y el lecho del río está arenizado como consecuencia de cultivos hasta el mismo borde del cauce.

También podemos encontrar densidades reducidas (<5.200 ind./m^2) en el tramo del río Henares aguas abajo de Sigüenza (estación He3), el cual recibe las aguas residuales insuficientemente depuradas de esta localidad, presentando unas concentraciones de oxígeno disuelto muy bajas durante el verano. Pocos kilómetros río abajo (estación He4), el río Henares continua eutrofizado pero está bien oxigenado y presenta densidades ligeramente superiores a las de otras cabeceras de la región caliza (60.600 ind./m^2). El aumento de la producción primaria y el constante suministro de materia orgánica, sobre todo por el vertido de Sigüenza, posibilita a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos multiplicar el número de generaciones anuales, apareciendo con dos máximos de densidad, uno en marzo y otro en septiembre. En los cursos medio y bajo del río Henares (He6 - He12) y en los tramos del Bornova bajo la presa de Alcorlo (Bo2 y Bo3) la densidad alcanza un máximo en marzo. Este máximo primaveral se debe a una explosión demográfica de oligoquetos, que encuentran en esta estación del año unas condiciones óptimas para su desarrollo: temperatura, suministro de detritos orgánicos, y abundante desarrollo de algas filamentosas, que retienen la materia orgánica en suspensión entre sus filamentos (en el tramo Bo3, el máximo primaveral se debe al plecóptero *Leuctra sp.*, lo cual se explica más abajo al tratar los principales grupos taxonómicos). En el curso bajo del río Henares (He10 - He12) la densidad de macroinvertebrados bentónicos se dispara (56.000 - 117.000 ind./m^2) por la eutrofización (elevada concentración de nutrientes y elevada producción primaria) y la elevada deposición de materia orgánica procedente de numerosos vertidos urbanos e industriales, de la que se alimentan ávidamente oligoquetos y quironómidos. En el río Cañamares hay una aumento continuo de la densidad desde diciembre hasta septiembre debido a la proliferación del gasterópodo *Potamopyrgus antipodarum* (Ca1), invasor de origen neozelandés, o de quironómidos bajo la presa de Pálmaces (Ca2 y Ca3). En los demás tramos hay un máximo entre marzo y junio, que es el período más favorable térmicamente para la proliferación de macroinvertebrados bentónicos.

Principales Grupos Taxonómicos

La mayoría de los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Henares son oligoquetos (24%) y dípteros (24%) (Tabla 1). Los oligoquetos que encontramos en los ríos son acuáticos en todo su ciclo biológico e incluyen lombrices similares a las terrestres y lombrices específicamente adaptadas al medio acuático. Los dípteros sólo son acuáticos en el estadio larvario e incluyen, fundamentalmente, larvas de mosquito y de mosca, como el tábano o la típula (la cual, en estadio adulto tiene patas extremadamente largas y a veces es tomada por un mosquito gigante).

En la cuenca del río Henares los dípteros son principalmente quironómidos, esto es, larvas de mosquito, y representan por sí solos cerca de 1/5 de la comunidad (18%). A este grupo le siguen efemerópteros (13%), gasterópodos (11%), anfípodos (9%), coleópteros (7%), tricópteros (7%), plecópteros (2,9%), planarias (0,7%) e hirudíneos (0,1%). Atendiendo a la densidad, el orden es el mismo, salvo que los gasterópodos preceden a los efemerópteros.

A lo largo de todo el año, oligoquetos y los dípteros predominan (>50%) en las comunidades del curso bajo del Henares, desde las inmediaciones de Guadalajara hasta el último tramo (He9 a He12). La elevada abundancia de macroinvertebrados bentónicos registrada en el curso bajo del Henares se debe a estos dos grupos, que recolectan la materia orgánica procedente de los vertidos urbanos e industriales y se benefician de la eutrofización de las aguas. Oligoquetos y dípteros predominan también en el tramo del Henares bajo la ciudad de Sigüenza (He3), fuertemente contaminado, aunque son menos abundantes que en el curso bajo. En marzo, la predominancia de estos dos grupos se extiende a casi todo el curso del Henares debido a la explosión demográfica de oligoquetos, explicada al hablar de la densidad.

Hay otros dos zonas de la cuenca donde también predominan oligoquetos y dípteros: en el río Salado, que tiene el lecho casi totalmente arenizado, y en el tramo del Bornova justo bajo la presa de Alcorlo (Bo2), que recibe un vertido del pueblo aledaño y tiene un caudal muy reducido, salvo en los periodos de suelta de la presa.

Los gasterópodos incluyen diversas especies de caracolillos acuáticos y un tipo de lapas (*Ancylus fluviatilis*) parecidas externamente a las lapas marinas. Estos moluscos se alimentan principalmente del perifiton, aunque alguna especie también utiliza el detritus como recurso alimenticio.

En la cuenca del río Henares los gasterópodos suelen ser muy abundantes justamente donde aparece la especie invasora *Potamopyrgus antipodarum*. Representan >10% de la comunidad en varias zonas de la cuenca: en las cabeceras de la región caliza (Ca1, Ca2, He1, He2, Du1, Du2), especialmente de septiembre a diciembre, cuando otros grupos tienen menor densidad; bajo la presa de Palmaces (Ca2), entre diciembre y marzo, antes de que las sueltas de la presa los afecten negativamente; y, especialmente, en el curso alto del Cañamares (Ca1), donde la predominancia de *P. antipodarum* es muy fuerte y permanente (>50% todo el año y 74% de promedio anual), probablemente debido a la combinación de bajo caudal y elevada disponibilidad de recursos.

Tabla 1. *Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los 27 tramos fluviales y en el conjunto de la cuenca del río Henares, y la proporción (%) de los principales grupos taxonómicos. Por su valor indicador, los quironómidos se destacan aparte de los dípteros.*

Tramo fluvial	*Densidad (ind./m²)*	*Dípteros*	*Oligoquetos*	*Quironómidos*	*Efemerópteros*	*Gasterópodos*	*Anfípodos*	*Coleópteros*	*Tricópteros*	*Plecópteros*	*Planarias*	*Hirudíneos*
He1	26.340	3	1	2	3	12	57	5	13	2,6	2,2	0,0
He2	57.493	17	13	16	3	32	18	12	2	0,0	0,5	0,1
He3	5.158	26	74	25	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
He4	60.685	12	8	10	40	8	3	13	13	0,1	2,3	0,0
He5	21.424	27	3	19	18	4	8	28	10	0,0	0,0	0,0
He6	27.336	10	33	3	24	1	18	10	4	0,6	0,3	0,0
He7	56.971	18	57	14	6	5	4	1	8	0,1	0,1	0,0
He8	15.880	14	15	13	37	1	6	3	15	0,1	0,0	0,0
He9	26.597	15	72	14	3	1	4	0,5	4	0,0	0,0	0,1
He10	85.258	26	73	26	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
He11	116.850	20	75	20	0,1	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6
He12	56.344	69	24	66	0,2	5	0,0	0,0	0,2	0,0	1,5	0,5
Du1	37.559	29	3	16	10	19	32	3	1	0,5	1,3	0,6
Du2	40.381	24	2	4	3	15	18	20	14	0,2	2,3	0,0
Sa1	29.240	43	22	41	22	7	5	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0
Sa2	20.312	23	45	20	8	3	16	1	2	0,2	0,0	0,0
Ca1	82.645	2	2	2	0,3	74	12	8	1	0,1	0,0	0,1
Ca2	44.004	39	19	13	4	25	3	3	4	2,2	0,0	0,0
Ca3	70.730	37	5	7	7	5	19	22	2	0,1	0,0	0,1
Bo1	26.952	16	3	14	13	2	0,0	38	14	6,3	0,3	0,0
Bo2	58.999	30	55	29	6	5	0,0	0,4	1	2,2	0,0	0,0
Bo3	72.587	26	1	24	13	9	2	3	1	37,9	0,0	0,2
So1	7.140	18	3	11	51	3	0,0	5	10	2,8	1,6	0,0
So2	6.494	26	10	17	24	5	0,0	3	17	4,1	0,8	0,0
So3	4.551	34	12	30	15	6	0,0	4	16	4,2	0,2	0,0
So4	18.929	23	2	11	22	17	10	7	8	6,4	2,4	0,0
So5	13.871	24	9	22	23	3	12	4	20	2,5	0,8	0,0
Cuenca	40.397	24	24	18	13	11	9	7	7	2,9	0,7	0,1

Los efemerópteros son acuáticos en su fase larvaria y emergen del río al metamorfosearse en adultos. Éstos son buenos voladores, pero apenas se alejan del río para reproducirse y tienen una vida efímera (quien haya paseado al atardecer a lo largo de un río probablemente habrá observado a las truchas alimentándose de ellos, pues suelen emerger masivamente). En la cuenca del río Henares los efemerópteros están prácticamente ausentes de los tramos más contaminados, pero son frecuentes en el resto de la cuenca. Son proporcionalmente importantes a lo largo del Sorbe, donde hay pocos oligoquetos y quironómidos, y en el curso medio del Henares (He4 a He8), donde la contaminación no llega a afectarlos adversamente y, presumiblemente, la producción primaria es elevada y los detritos finos son abundantes (las dos principales fuentes alimenticias de la mayoría de efemerópteros).

Los anfípodos son un tipo de crustáceos que apenas miden 1cm de longitud. Son fundamentalmente desmenuzadores, y además presentan cierta sensibilidad frente a la contaminación, por lo que no aparecen en los tramos más contaminados de la cuenca. Faltan también en la región silícea debido a la escasez de carbonatos, que necesitan para formar su exoesqueleto. Se los encuentra en las cabeceras calizas (He1, He2, Du1, Du2) y localmente son abundantes en cursos medios (Ca3 y He6), siempre y cuando haya abundantes detritos. A lo largo del año la proporción de anfípodos es muy constante en el tramo superior del río Henares (He1), que tiene unas condiciones ambientales particularmente estables: bajo caudal y abundante vegetación riparia, que suministra gran cantidad de hojarasca al río.

Los coleópteros que habitan los rápidos de la cuenca del río Henares pertenecen en su mayoría a la familia Elmidae. Esta familia de escarabajos habita exclusivamente los rápidos, donde raspa o ramonea el perifiton, tanto en estadio larvario como adulto. Los adultos son buenos voladores y se desplazan fácilmente de un río a otro, pero como los anfípodos y los plecópteros, faltan de los tramos más contaminado. Justamente son muy escasos y proporcionalmente poco importantes (<1%) donde abundan oligoquetos y dípteros, que es donde se ha detectado una fuerte alteración del hábitat fluvial: en algunos tramos del curso medio del Henares (He7 y He9), en el tramo del Bornova bajo la presa de Alcorlo (Bo2) y en el río Salado (Sa1 y Sa2). También son poco abundantes en los tramos superiores del Sorbe, presumiblemente a que en esta zona del río las aguas tienen pocos nutrientes y la producción de perifiton es baja. Por el contrario, son abundantes en tramos con mayor producción primaria: Bo1, Ca3, Du2, He4, Ca1 y He2.

Los tricópteros fueron presentados en la introducción a este capítulo. Las larvas son acuáticas y emergen del río al metamorfosearse en adulto; los adultos tienen una vida más larga que los de efemerópteros y se asemejan a mariposas nocturnas (tienen pelos en las alas y disponen las alas sobre el abdomen formando un tejadillo). Las larvas de algunas especies construyen canutillos o casetillas donde se introducen para protegerse de los depredadores (quizá también para lastrarse), pero hay muchas especies que viven libremente. En cuanto a su modo de alimentación, los hay desmenuzadores (Limnephilidae), raspadores (Glossomatidae), filtradores (Hydropsychidae), depredadores (Rhyacophilidae), e incluso succionadores (Hydroptilidae), pero parece ser que no se han especializado como recolectores.

En general, los tricópteros son sensibles a la contaminación y a la degradación física del hábitat; por ello están prácticamente ausentes de los tramos fuertemente contaminados de la cuenca del río Henares (en el curso bajo del Henares tan sólo se encuentra el filtrador *Hydropsyche exocellata*, siempre en baja densidad) y son poco abundantes en el río Salado, casi completamente arenizado. Por el contrario, son proporcionalmente importantes (>10%) en el río Sorbe, la cabecera del Bornova (Bo1) y algunos tramos de la región caliza (He1, Du2, He4 y He8); esto es, en los tramos con mejores condiciones ambientales.

Los plecópteros son el grupo más primitivo de insectos acuáticos. Las larvas son acuáticas y emergen del río al metamorfosearse en adultos, pero éstos, que están alados, poco se diferencian de ellas. La mayor parte los plecópteros son detritívoros o depredadores, y muchas especies son sensibles a la contaminación, así que están ausentes de los tramos fuertemente contaminados. En la cuenca del río Henares son un grupo minoritario (<10%), salvo en el tramo bajo del Bornova (Bo3) (38% de promedio anual), donde el taxón *Leuctra sp.* es excepcionalmente abundante en primavera debido a que el exiguo caudal liberado por la presa de Alcorlo no puede arrastrar la hojarasca, que se acumula en el cauce. La proporción de plecópteros es algo mayor en los ríos Sorbe y Bornova (2-7 %) que en los demás ríos de la cuenca (<2%, salvo en He1 y Ca2), más contaminados.

Las planarias son un grupo de invertebrados planos (platelmintos) que se alimentan de otros macroinvertebradso bentónicos. Representan siempre una proporción baja dentro de la comunidad (<5%), existiendo una cierta zonación en su distribución en la cuenca del río Henares: *Polycelis felina* aparece en las cabeceras y los cursos medios de la región caliza, salvo el río Cañamares y el río Salado; *Dugesia gonocephala* se distribuye por la región silícea y el río Cañamares; finalmente, *Dugesia polychroa* y *Dugesia tigrina* (especie invasora que requiere aguas cálidas) se encuentran en el curso bajo del río Henares.

Los hirudíneos o sanguijuelas se alimentan preferentemente de otros macroinvertebrados (algunas especies parasitan vertebrados, pero entonces no se las encuentra en el lecho fluvial). Representan una proporción dentro de la comunidad todavía menor que la de las planarias (<1%) y, en general, acompañan a oligoquetos y quironómidos en los tramos contaminados, como aguas abajo de Sigüenza (He3) y en el curso bajo del Henares (de He10 a He12), donde abundan en verano. Curiosamente, también abundan en un tramo del río Dulce (Du1), pero en ese tramo se ha detectado contaminación puntual y tiene muy bajo caudal durante el verano.

Estructura Trófica

En el conjunto de la cuenca del río Henares los recolectores son el grupo trófico mayoritario (46%); le siguen raspadores (24%), desmenuzadores (17%), filtradores (8%), depredadores (4%) y, en proporción mucho menor, picadores (1%) y plantívoros (0,2%) (Tabla 2).

Tabla 2. *Composición trófica (%) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en los 27 tramos fluviales y en el conjunto de la cuenca del río Henares.*

Tramo	*Recolectores*	*Raspadores*	*Desmenuzadores*	*Filtradores*	*Depredadores*	*Picadores*	*Plantívoros*
He1	3	31	61	2	3	0,0	0,0
He2	29	29	35	3	2	1,7	0,2
He3	99	0	0	0	0	0,0	0,0
He4	52	32	6	5	3	0,0	0,3
He5	33	40	9	12	4	1,9	0,2
He6	50	21	18	8	2	0,8	0,1
He7	72	14	5	7	2	0,9	0,1
He8	37	35	8	8	8	1,8	0,4
He9	87	4	4	4	1	0,3	0,0
He10	99	1	0	0	0	0,0	0,0
He11	95	4	0	0	1	0,0	0,0
He12	90	5	0	3	2	0,0	0,0
Du1	19	22	46	6	5	0,6	0,6
Du2	6	45	25	17	5	1,5	0,4
Sa1	82	4	8	2	3	0,3	0,0
Sa2	69	8	16	4	1	1,0	0,0
Ca1	3	45	49	1	1	0,5	0,0
Ca2	33	18	18	28	1	2,0	0,4
Ca3	14	30	22	31	1	1,2	0,6
Bo1	18	53	11	5	11	0,9	0,0
Bo2	83	11	3	0	3	0,5	0,1
Bo3	20	20	44	5	10	0,3	0,2
So1	21	44	17	7	11	0,2	0,5
So2	31	32	11	14	11	0,7	0,2
So3	44	22	10	14	7	2,0	0,7
So4	13	35	26	19	6	0,1	0,7
So5	32	28	17	10	5	8,9	0,2
Cuenca	46	24	17	8	4	1,0	0,2

Durante todo el año los recolectores predominan (>50%) en el curso bajo del río Henares (He9 a He12) y en el tramo del mismo bajo la ciudad de Sigüenza (He3), donde se alimentan de los depósitos de materia orgánica procedente de vertidos urbanos e industriales. También predominan en el tramo del Bornova bajo la presa de Alcorlo (Bo2) y en el río Salado (Sa1 y Sa2), como se ha expuesto al tratar los principales grupos taxonómicos. En el conjunto de la cuenca, la proporción de colectores alcanza un máximo hacia marzo. En esta época predominan (>50%) en todo el curso del río Henares, salvo en el primer tramo (He1), donde predominan los desmenuzadores, y representan más del 99% de la comunidad en el curso bajo. Los raspadores sólo predominan en el tramo superior del Bornova (Bo1), pero están bien representados (21-47%) en todos los tramos, salvo donde son muy abundantes los colectores. En marzo se mantiene la densidad de raspadores, pero disminuye la proporción dentro de la comunidad, quizá debido a la proliferación de recolectores.

Los desmenuzadores abundan donde se acumula hojarasca procedente de la vegetación riparia, principalmente en las cabeceras de la región caliza (He1, Du1 y Ca1, *Eulimnogammarus toletanus*), que tienen bajo caudal y escasa corriente, y en el tramo bajo del Bornova (Bo3, *Leuctra sp.*), donde el caudal es también muy reducido debido a que la presa de Alcorlo libera normalmente un caudal muy bajo. Los filtradores son poco importantes en los tramos donde predominan recolectores, raspadores y desmenuzadores. En los tramos restantes, la densidad máxima se registra de junio a septiembre. En los tramos del Cañamares bajo la presa de Palmaces (>60%) son particularmente frecuentes, quizá debido a que las aguas que libera el embalse transportan abundante zooplancton.

Los depredadores son siempre minoritarios en la comunidad, pues están en la cima de la cadena trófica de los macroinvertebrados bentónicos. En la cuenca del río Henares son más frecuentes en la región silícea (río Sorbe y tramo superior del Bornova) y en un tramo del río Henares próximo a esta región (He8, bajo la desembocadura del río Sorbe), quizá debido a la escasez de colectores en esta zona de la cuenca y a que la mayoría de los macroinvertebrados predadores son plecópteros sensibles a la contaminación.

Riqueza, Diversidad, Dominancia y Valor Ecológico

Normalmente, cuando disminuye la riqueza también disminuyen la diversidad y la calidad ecológica del medio, mientras que la dominancia aumenta. Las causas son sencillas: las condiciones ambientales extremas afectan adversamente a los taxones más sensibles, y el resultado es la reducción de su densidad o la desaparición de los mismos; al mismo tiempo, favorecen la proliferación de unos pocos taxones generalistas, o bien adaptados a las condiciones extremas. Esto es lo que ocurre, en términos generales, en la cuenca del río Henares, y por eso los cuatro parámetros varían de modo coherente.

Hemos valorado la riqueza de taxones al máximo nivel taxonómico alcanzado (T-r) y al nivel de familia (Familia-r); además hemos calculado la riqueza de tres órdenes de insectos particularmente sensibles a la contaminación: efemerópteros, plecópteros y tricópteros (EPT-r). Diversidad y dominancia se han valorado mediante los índices de Camargo (D-Camargo y d-Camargo, respectivamente) y, además, hemos calculado la proporción en la comunidad de los dos taxones más abundantes (2-dm).

Finalmente, la calidad ecológica se ha valorado mediante un índice biótico que suma la sensibilidad a la polución de cada una de las familias en la comunidad (t-BMWQ) y mediante la sensibilidad media de las familias a la polución (a-BMWQ, resultado de dividir el t-BMWQ entre el número de familias, pudiendo tomar valores entre 1 y 15) (ver Capítulo VII para más información sobre este índice).

En la cuenca del río Henares los valores medios de estos índices son (Tabla 3): riqueza de taxones (T-r) = 38; riqueza de familias (Familia-r) = 25; riqueza de EPT (EPT-r) = 13; diversidad (D-Camargo) = 11,4; dominancia (d-Camargo) = 0,70; 2-dm = 0,58; t-BMWQ = 219 y a-BMWQ = 8,2 (calidad moderada).

En el tramo del río Henares aguas debajo de Sigüenza (He3), fuertemente contaminado, tan solo sobreviven 5 taxones pertenecientes a 5 familias distintas y no hay ningún EPT; la diversidad es mínima, la calidad ecológica es muy baja (t-BMWQ=20 y a-BMWQ=3,8; calidad muy mala), y los dos taxones más abundantes representan el 90% de la comunidad (2-dm, 0,90). Pocos kilómetros aguas abajo (He4), el río Henares sigue eutrofizado pero está bien oxigenado y ha recuperado los valores de riqueza, diversidad y calidad ecológica propios de las cabeceras calizas.

En el curso medio del río Henares (He6 a He8) los valores de riqueza, diversidad, calidad ecológica y dominancia se aproximan a la media de la cuenca, pero la riqueza y la calidad ecológica total son siempre algo menores. En los tramos de los ríos Cañamares y Bornova, justo bajo las presas (Ca2 y Bo2), también se registran valores próximos a la media, pero la diversidad es algo menor, mientras que la dominancia es mayor; aguas abajo (Ca3 y Bo3), los valores de diversidad y dominancia se recuperan y se aproximan a la media.

En el curso bajo del Henares (He10 a He12), eutrofizado y fuertemente contaminado, el abrupto deterioro de las condiciones ambientales repercute fuertemente en los índices: se reducen la riqueza (8-11 familias, 11-16 taxones y 1 ó 2 EPT), la diversidad (máximo 6,4) y el valor ecológico (t-BMWQ=41-59 y a-BMWQ=4,7-5,6, respectivamente), y aumenta la proporción de la comunidad que representan los dos taxones más abundantes (0,54-0,89).

En el río Salado, los índices registran los efectos negativos de las aguas salobres y de la arenización de lecho, de modo que la riqueza, la diversidad y la calidad ecológica son inferiores a la media, mientras que la dominancia es superior.

En el extremo opuesto, la región silícea registra los valores más altos de riqueza, diversidad y calidad ecológica, mientras que la dominancia es mínima. El tramo superior del Bornova (Bo1), por ejemplo, registra los valores máximos de riqueza (T-r=64; Familia-r=38 y EPT-r=25), diversidad (D-Camargo=24,4) y calidad ecológica (t-BMWQ=368 y a-BMWQ=9,7), y los dos taxones más abundantes representan una proporción mínima de la comunidad (2-dm=0,28). También tienen elevada calidad ecológica (t-BMWQ>290) varios tramos del Sorbe (So1, So2 y So4) y los tramos del Dulce (Du1 y Du2).

En resumen, tanto la región silícea (río Sorbe, sobre todo So1 a So3, y Bo1) como las cabeceras de la región caliza con un buen desarrollo de la vegetación riparia (He1, Du1 y Du2) tienen elevada riqueza, diversidad y calidad ecológica, y baja dominancia. El curso bajo del río Henares (He10 a He12) y el tramo bajo la ciudad de Sigüenza (He3), fuertemente contaminados, tienen valores opuestos.

También se dan valores bajos de riqueza, diversidad y calidad ecológica justo bajo las presas de Palmaces y Alcorlo (Ca2 y Bo2), en gran parte del curso medio del Henares (He6 a He9), afectado por la regulación de caudales y el cultivo de la cuenca, y en las cabeceras calizas arenizadas como consecuencia del cultivo de la cuenca y la eliminación de la vegetación riparia (río Salado y He2, principalmente).

Tabla 3. *Riqueza, diversidad, dominancia y calidad ecológica en los 27 tramos fluviales y para el conjunto de la cuenca del río Henares. La calidad ecológica es valorada preferentemente por el valor numérico del índice a-BMWQ: excelente (≥12); buena (<12-10); moderada (<10-7); mala (<7-4); y muy mala (<4).*

Tramo fluvial	*T-r*	*N°familias*	*EPT-r*	*D-Camargo*	*d-Camargo*	*2-dm*	*t-BMWQ*	*a-BMWQ*
He1	42	29	14	9,96	0,76	0,75	264	9,1
He2	42	27	12	9,12	0,78	0,69	232	8,8
He3	5	5	0	2,27	0,52	0,90	20	3,8
He4	42	29	12	13,80	0,67	0,57	253	8,7
He5	46	26	17	16,91	0,63	0,38	226	8,6
He6	40	27	16	12,48	0,68	0,61	235	8,8
He7	32	23	11	10,44	0,68	0,55	196	8,5
He8	32	21	13	12,43	0,61	0,47	182	8,6
He9	31	22	10	8,42	0,72	0,70	165	7,7
He10	11	9	1	3,15	0,72	0,89	41	4,7
He11	14	11	1	4,74	0,65	0,75	59	5,6
He12	16	11	2	6,41	0,58	0,54	59	5,6
Du1	51	33	14	13,95	0,73	0,56	292	8,8
Du2	51	35	15	18,99	0,62	0,40	318	9,1
Sa1	27	21	5	6,38	0,76	0,65	166	7,8
Sa2	38	23	13	9,81	0,73	0,61	186	8,0
Ca1	42	27	9	7,43	0,82	0,83	223	8,4
Ca2	41	29	16	8,90	0,78	0,78	256	9,0
Ca3	45	27	15	12,56	0,72	0,54	235	8,6
Bo1	64	38	25	24,44	0,62	0,28	368	9,7
Bo2	42	29	12	8,51	0,78	0,62	239	8,1
Bo3	44	32	14	13,12	0,70	0,56	264	8,2
So1	49	31	23	22,71	0,53	0,31	312	10,0
So2	53	38	20	23,00	0,56	0,38	352	9,3
So3	31	25	15	11,58	0,62	0,47	235	9,6
So4	48	33	20	16,73	0,65	0,37	301	9,1
So5	44	26	19	16,56	0,61	0,44	246	9,4
Cuenca	38	25	13	11,40	0,70	0,58	219	8,2

Adaptaciones y Estrategias

Desde la aparición de la vida en la tierra ha habido una continua interacción de los organismos y su ambiente. El resultado de esta interacción son las especies actualmente existentes, cada una de las cuales tiene un abanico particular de adaptaciones y estrategias vitales. La propia comunidad de macroinvertebrados bentónicos presenta cierto perfil estratégico-adaptativo frente a las condiciones ambientales del hábitat fluvial. Un aspecto de este perfil es la estructura trófica, pero las posibilidades no se agotan en ella: hay adaptaciones y estrategias biológicas, como el tamaño de un organismo o su forma; fisiológicas, como el tipo de respiración; o ecológicas, como el microhábitat utilizado o la velocidad de la corriente preferida. En las Tablas 4 y 5 se presenta una clasificación de las estrategias-adaptativas de los macroinvertebrados bentónicos en estas tres categorías.

En esta clasificación, cada estrategia adaptativa tiene varias modalidades, y cada taxon presenta una afinidad determinada por cada modalidad. Además, es evidente que las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentarán perfiles estratégico-adaptativos acordes con las diversas condiciones ambientales registradas en la cuenca del río Henares (ver Capítulo V).

En las Figuras 2 y 3 se presenta una ordenación simultánea (elaborada con una técnica compleja denominada RLQ) de las estrategias adaptativas de los macroinvertebrados bentónicos frente a las condiciones ambientales del hábitat fluvial en la cuenca del Henares (ver Capítulo V para una explicación del modo de interpretar una ordenación). Una simple ojeada a la ordenación evidencia que numerosas modalidades estratégicas se asocian entre sí (aparecen próximas) en respuesta a variaciones ambientales que nos son familiares (Capítulo V). El eje horizontal de la ordenación recoge el 86,1% de la estructura común al ambiente y las estrategias adaptativas, y el segundo eje recoge el 9%.

A lo largo del eje horizontal (Figuras 2a y 2b), aumenta la contaminación de las aguas (aumentan el fósforo soluble y disminuyen la concentración de oxígeno disuelto y el pH) y el tamaño de los ríos (anchura, profundidad, caudal, velocidad de la corriente y luz transmitida); en respuesta, las estrategias adaptativas propias de insectos dan paso a las estrategias adaptativas propias de oligoquetos, hirudíneos y algunas tribus de quironómidos (Figuras 2c y 3). A lo largo del eje vertical (Figura 2b), menos importante, se reducen la sinuosidad de los ríos y el tamaño del sustrato y aumentan las concentraciones iónicas; en respuesta, las estrategias adaptativas propias de insectos dan paso, esta vez, a las estrategias adaptativas de crustáceos y gasterópodos (principalmente de *P. antipodarum*) (Figuras 2c y 3). Entre los órdenes de insectos hay también diferentes respuestas a las variaciones ambientales (Figuras 2d y 3): los élmidos se segregan claramente del resto de coleópteros y tienen estrategias adaptativas diametralmente opuestas a las de oligoquetos; los efemerópteros de las familias Polymitarcidae y Caenidae se segregan del resto de efemerópteros y sus estrategias adaptativas se asemejan a las de hirudíneos; las tres principales tribus de quironómidos (excluida Tanypodinae) tienen un perfil estratégico adaptativo similar al de oligoquetos; los odonatos de las familias Cordulegasteridae y Gomphidae, caracterizados por preferir ambientes lénticos. Los taxones predadores se orientan hacia la región que ocupan los plecópteros predadores. Los restantes órdenes de insectos cuentan con un solo taxon: hemíptera, orientado hacia los crustáceos y gasterópodos; heteróptera, hacia los élmidos, y megalóptera, hacia los plecópteros y los odonatos.

Como sabemos, el crecimiento general del río implica el paso de condiciones erosivas a condiciones sedimentarias. En la cuenca del río Henares esta variación natural es paralela al aumento de la contaminación, que supone además un aumento de la deposición orgánica. Esta variación es adversa para los organismos especializados, estrategas de la *k* (que apuestan por la adaptación específica), y favorece a los organismos oportunistas con gran capacidad reproductiva, los llamados estrategas de la *r* (que apuestan por la reproducción), como muchos oligoquetos y quironómidos. Y, efectivamente, el crecimiento de los ríos y el aumento de la contaminación en la cuenca del río Henares producen variaciones estratégicas en esta dirección:

Tabla 4. *Estrategias adaptativas biológicas de los macroinvertebrados bentónicos según Tachet et al. (2003). Los códigos permiten identificar la posición de cada modalidad en Figura 3.*

	Estrategias adaptativas	*Modalidad*	*Código*
Estrategias biológicas	Talla máxima	<2,5	1a
		2,5-5	1b
		5-10	1c
		10-20	1d
		20-40	1e
		40-80	1f
	Ciclo vital	< o igual 1 año	2a
		>1 año	2b
	Números de generaciones	<1	3a
		1	3b
		>1	3c
	Estado acuáticos	Huevo	4a
		Larva	4b
		Ninfa	4c
		Adulto	4d
	Reproducción (sexual y asexual)	Ovovivípara – cuidado de los juveniles	5a
		Huevos aislado, libre	5b
		Huevos aislados, anclados	5c
		Puestas (cementadas o fijadas)	5d
		Puestas, libres	5e
		Puestas endofíticas	5f
		Puestas terrestres	5g
		Reproducción asexual	5h
	Dispersión	Acuática pasiva	6a
		Acuática activa	6b
		Aérea pasiva	6c
		Aérea activa	6d
	Formas de resistencia	Huevos, gémulas, estatoblastos, cáscaras	7a
		Capullos	7b
		Celda contra la desecación	7c
		Diapausa o quiescencia	7d
		Ninguno	7e
	Tipo de alimento	Sedimentos fino + microorganismos	8a
		Detritos <1mm	8b
		Detritos vegetales >1mm	8c
		Micrófitos vivos	8d
		Macrófitos vivos	8e
		Animales muertos >1mm	8f
		Microinvertebrados vivos	8g
		Macroinvertebrados vivos	8h
		Vertebrados	8i
	Modo de alimentación	Absorción a través de los tegumentos	9a
		Ingestión de sedimentos finos	9b
		Desmenuzador	9c
		Raspador, pastador	9d
		Filtrador	9e
		Picador (alguívoro o predador suctor)	9f
		Predador (descuartizador o tragador)	9g
		Parásito	9h

Tabla 5. *Estrategias adaptativas fisiológicas y ecológicas de los macroinvertebrados bentónicos según Tachet et al. (2003). Los códigos permiten identificar la posición de cada modalidad en Figura 3.*

	Estrategias adaptativas	*Modalidad*	*Código*
Estrategias fisiológicas	Respiración	Tegumento	Aa
		Branquias	Ab
		Plastron	Ac
		Estigmas (respiración aérea)	Ad
	Temperatura	Estenoterma: psicrófila (<15 °C)	Ba
		Estenoterma: termófila (>15 °C	Bb
		Euriterma	Bc
	pH	<4	Ca
		4-4.5	Cb
		4.5-5	Cc
		5-5.5	Cd
		5.5-6	Ce
		>6	Cf
	Grado trófico	Oligotrofo	Da
		Mesotrofo	Db
		Eutrofo	Dc
	Categoría saprobia	Xenosaprobio	Ea
		Oligosaprobio	Eb
		Beta mesosaprobio	Ec
		Alpha mesosaprobio	Ed
		Polisaprobio	Ee
	Salinidad	Agua dulce	Fa
		Agua salobre	Fb
Estrategias ecológicas	Altitud	Llanura, colina (<1.000 m)	Ga
		Montaña (1.000-2.000 m)	Gb
		Alpina (>2.000 m)	Gc
	Distribución longitudinal	Crenón	Ha
		Epirhitron	Hb
		Metarhitron	Hc
		Hyporhitron	Hd
		Epipotamon	He
		Metapotamon	Hf
		Estuario	Hg
		Otros sistemas fluviales	Hh
	Distribución transversal respecto al Canal	Canal principal del río	Ia
		Orillas, canales secundarios	Ib
		Estanques, charcas, meandros abandonados	Ic
		Pantanos, turberas	Id
		Aguas temporales	Ie
		Lagos	If
		Hábitats subterráneos	Ig
	Microhábitat (preferente)	Losas, bloques, piedras, cantos	Ja
		Grava	Jb
		Arena	Jc
		Limo	Jd
		Macrófitos, algas filamentosas	Je
		Microfitos	Jf
		Ramas, raíces	Jg
		Detritos	Jh
		Cieno	Ji
	Modo de locomoción y relación con el Sustrato	Volador	Ka
		Nadador de superficie	Kb
		Nadador en agua abierta (plancton, necton)	Kc
		Rastrero	Kd
		Excavador (epibentónico)	Ke
		Endobéntico (intersticial)	Kf
		Fijación temporal	Kg
	Corriente	Nula	La
		Lenta (<25 cm/s)	Lb
		Moderada (25-50 cm/s)	Lc
		Rápida (>50 cm/s)	Ld

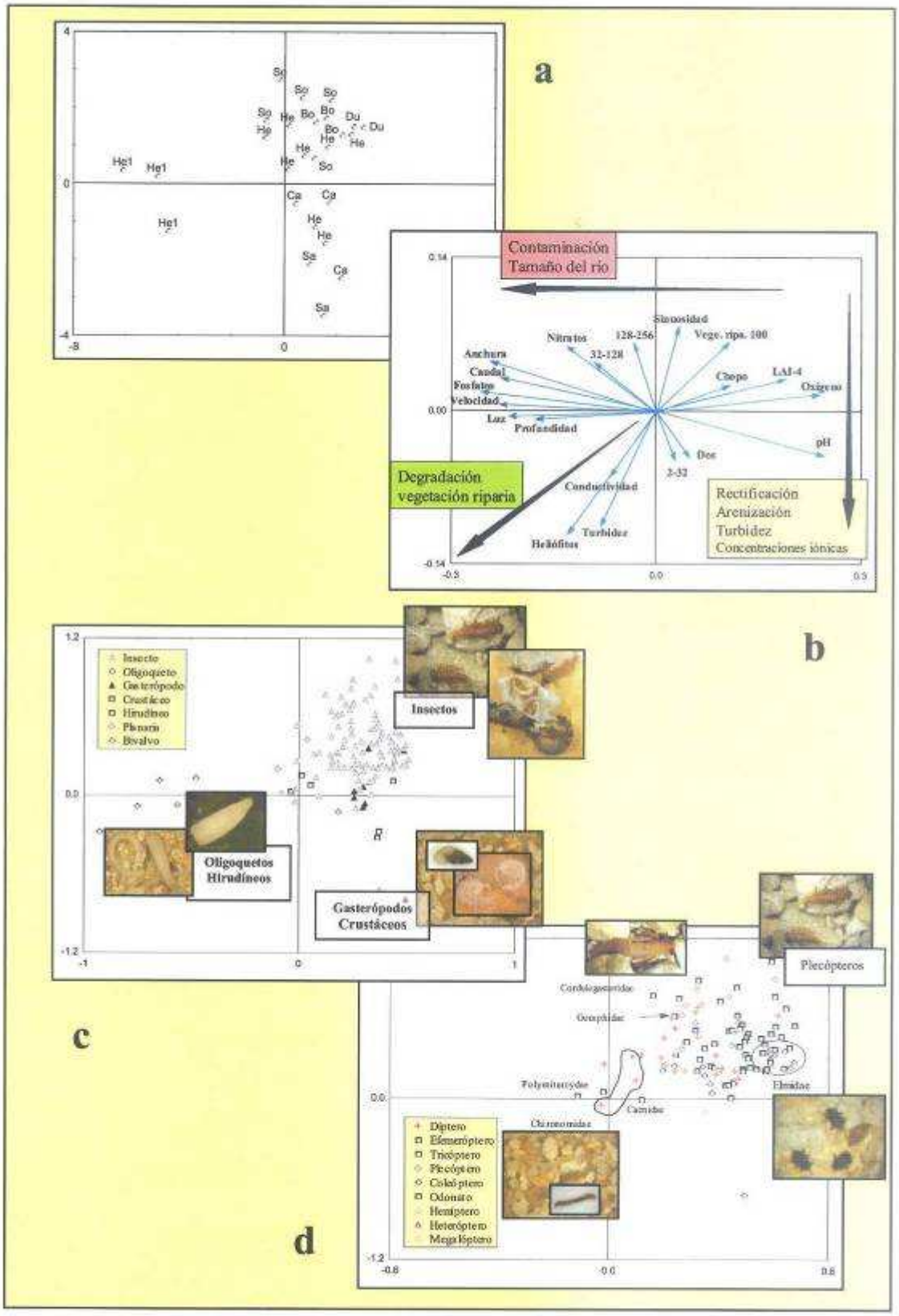

Figura 2. *Ordenación simultánea de: a) tramos fluviales; b) características ambientales; c) taxones agrupados al nivel de clase; d) insectos agrupados al nivel de orden (con algunas familias destacadas).*

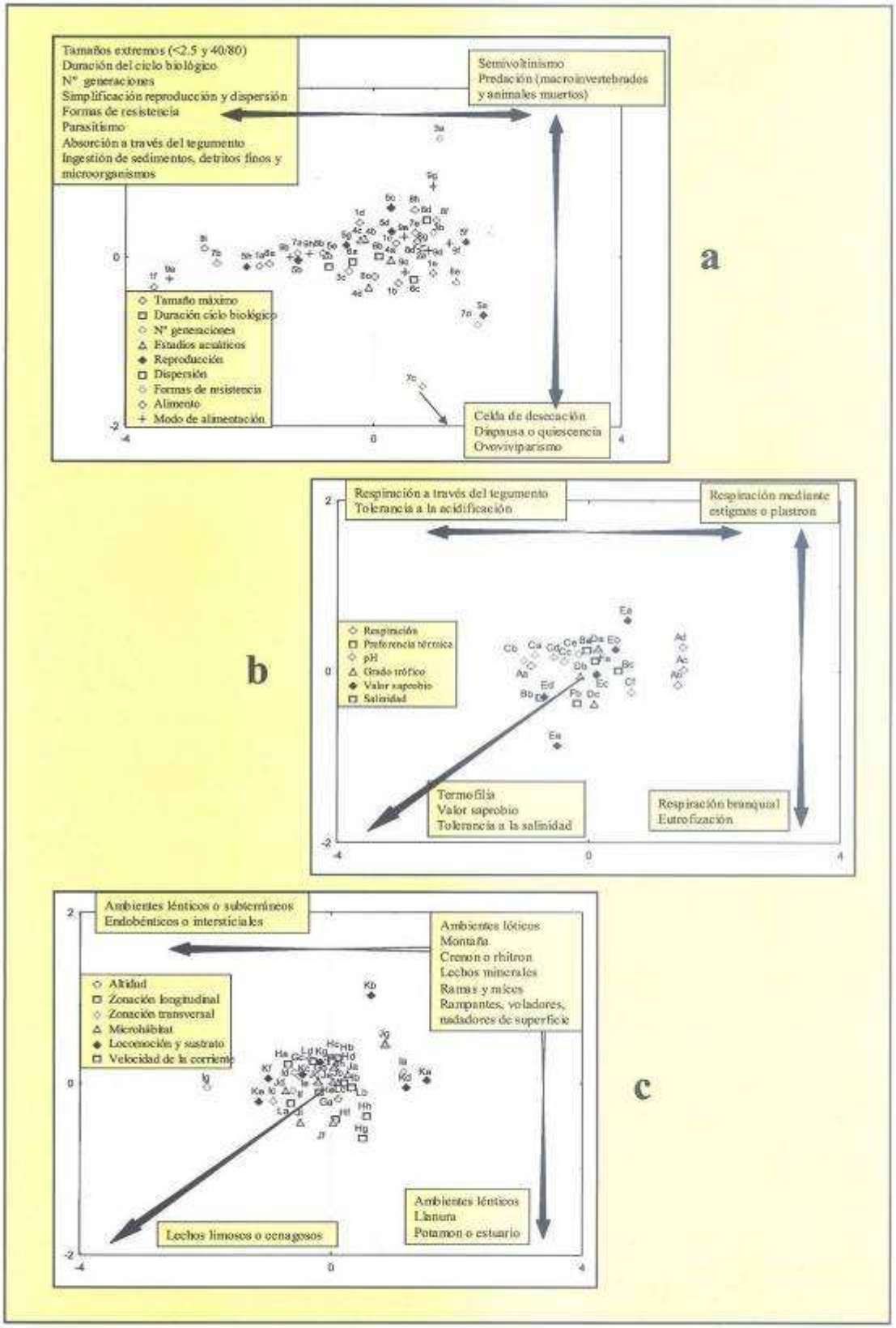

Figura 3. *Ordenación simultánea de las modalidades estratégico-adaptativas: a) biológicas, b) fisiológicas y c) ecológicas. Correspondencia de los códigos con las modalidades estratégico adaptativas en Tablas 4 y 5.*

A) Biológicas (Figura 3a): 1) aumento del número de generaciones anuales (las formas univoltinas o semivoltinas dan paso a las polivoltinas), 2) simplificación de las formas de reproducción y dispersión (el ovoviviparismo con cuidado de los juveniles y las puestas endofíticas dan paso a la reproducción asexual, o mediante huevos aislados, o mediante puestas libres, y la dispersión aérea activa da paso gradualmente a la dispersión acuática pasiva), 3) aparición de formas de resistencia (la ausencia de formas de resistencia, la utilización de celdas contra la desecación y la diapausa o quiescencia dan paso a la formación de capullos o huevos resistentes) y 4) simplifican o especializan de las formas de alimentación (hacia la absorción a través del tegumento, el parasitismo de vertebrados y la ingestión de sedimentos, detritos finos y microorganismos).

B) Fisiológicas (Figura 3b): 1) simplificación del tipo de respiración (los estigmas, el plastron o las branquias dan paso a la respiración a través de los tegumentos), 2) aumento de la termofilia y 3) aumento de la tolerancia a la acidificación y a la salinidad.

C) Ecológicas (Figura 3c): 1) se pasa de la adaptación a ambientes lóticos, en que los organismos rampan sobre lechos minerales u orgánicos de ramas y raíces, o bien vuelan en alguno de sus estadios, o bien nadan en superficie, a la adaptación a ambientes lénticos o subterráneos, donde los organismos se entierran en el bentos o viven en los intersticios de los lechos cenagosos o limosos. Hay ciertas variaciones estratégicas que no sería fácil explicar en términos adaptativos: paso de las tallas entre 2,5-40 mm a tallas de 40-80 mm o <2,5 mm, alargamiento de los ciclos biológicos o formación de capullos y huevos resistentes. Estas estrategias, como las anteriores, se asocian principalmente a los oligoquetos, y podrían ser meros correlatos filogenéticos de las otras estrategias, auténticamente adaptativas a las condiciones ambientales.

Las variaciones a lo largo del eje vertical son menos importantes. Como hemos señalado, muestran la respuesta estratégico-adaptativa de los macroinvertebrados bentónicos a la reducción de la sinuosidad de los ríos, la disminución del tamaño del sustrato y el aumento de las concentraciones iónicas, y supone el paso de las estrategias adaptativas propias de los insectos a las estrategias de crustáceos y gasterópodos (principalmente de *P. antipodarum*). Estas variaciones se dan en el tercio norte de la cuenca del Henares al pasar de la región silícea a la región caliza. En la región silícea los ríos tienen un lecho de piedras y grandes bloques, aguas claras (baja turbidez) y blandas (bajas concentraciones iónicas), y a estas características ambientales se asocian el semivoltinismo, la predación (principalmente sobre macroinvertebrados vivos y animales muertos >1mm) y las formas nadadoras de superficie (Figura 3a). En la región caliza algunos tramos han sido rectificados y están arenizados, son relativamente turbios y tienen aguas duras (elevadas concentraciones iónicas), y a estas características ambientales se asocian la utilización de una celda de desecación como forma de resistencia, y en menor grado, la diapausa o quiescencia, el ovoviviparismo, la respiración branquial y una baja tolerancia a la acidificación del medio (Figura 3a). Además, hay variaciones estratégico-adaptativas graduales entre estos dos perfiles, que permiten entenderlos mejor:

A) Fisiológicas (Figura 3b): 1) la respiración mediante estigmas o plastrón da paso a una respiración branquial, 2) la psicrofilia da paso a la termofilia, 3) aumenta la resistencia a la eutrofización, 4) aumenta el valor saprobio y 5) aumenta la tolerancia a la salinidad.

B) Ecológicas (Figura 3c): 1) la preferencia por las zonas montañosas o alpinas da paso a la preferencia por la llanura, 2) los habitantes del crenon y el rhitron dan paso a los del potamon o el estuario y 3) aumenta la preferencia por velocidades de corriente menores.

Ciertamente, la región silícea es montañosa, y la temperatura del agua, los nutrientes, las concentraciones iónicas y el pH son menores que en las parameras calizas. Por tanto, es lógico que en el perfil estratégico-adaptativo ofrecido por los macroinvertebrados bentónicos aumenten la psicrofilia y la tolerancia a la acidificación y se reduzcan el valor saprobio y la tolerancia a la eutrofización y la salinidad. Este perfil se asocia a los insectos, sobre todo a los plecópteros (salvo la tolerancia a la acidificación), y se opone al de gasterópodos y crustáceos, propios de la región caliza. Sin embargo, ciertas estrategias biológicas y fisiológicas no tienen un relación clara con las variaciones ambientales, y podrían ser meros correlatos filogenéticos de auténticas estrategias adaptativas. Así, la utilización de una celda de desecación como forma de resistencia, la diapausa o quiescencia, el ovoviviparismo o la respiración branquial se asocian a gasterópodos y/o crustáceos, pero no parecen adaptaciones concretas a los ambientes donde viven estos organismos. Por otro lado, el semivoltinismo, la predación (principalmente sobre macroinvertebrados vivos y animales muertos >1mm) y la natación en superficie, tampoco parecen adaptaciones concretas a las variaciones ambientales registradas, sino correlatos filogenéticos o taxonómicos de auténticas adaptaciones que presentan algunos insectos, especialmente los plecópteros.

Hay respuestas estratégico adaptativas a las condiciones ambientales que se recogen mejor en el plano factorial que en cada eje por separa. La presencia de heliófitos, por ejemplo, se opone al desarrollo de una vegetación riparia arbórea, (generalmente dominada por el chopo), pero esta variación no es estrictamente paralela a ninguno de los dos ejes (Figura 2b). En realidad, el deterioro de la vegetación riparia se explica tanto por el crecimiento y la contaminación del río (eje horizontal) como por la rectificación y arenización del cauce y el aumento de las concentraciones iónicas (eje vertical). Todas estas variaciones ambientales tienen como respuesta estratégico-adaptativa un aumento del valor saprobio, la tolerancia a la salinidad y la preferencia por lechos limosos o cenagosos respecto a las ramas y raíces.

Composición Taxonómica a Nivel de Especie o Género

La composición taxonómica de una comunidad al nivel de especie o género sólo dice algo concreto e inteligible a unos pocos taxónomos especializados. No obstante, la exposición de la distribución de los principales grupos de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del río Henares, y su conexión con la respuesta estratégico adaptativas de los mismos frente a las condiciones ambientales, entre las que la

estructura trófica ocupa un lugar preeminente, deberían haber proporcionado al lector conocimientos suficientes para entender las variaciones de la composición taxonómica al nivel de género-especie. Al fin y al cabo, del mismo modo que la prosperidad de un cierto individuo en la sociedad depende de su oficio y de las propias necesidades sociales, la presencia de cada especie en una comunidad depende de sus capacidades adaptativas y de su estrategia vital frente a las condiciones ambientales. Veamos, pues, cuáles son los personajes concretos, con nombres y apellidos, que habitan los lechos fluviales de la cuenca del río Henares.

Hemos visto que la mayoría de los macroinvertebrados bentónicos presentes en la cuenca del río Henares son insectos (Tabla 1); sabemos que otras clases de invertebrados son abundantes: oligoquetos (24%), gasterópodos (11%) y crustáceos (9%); por último, sabemos que hay bivalvos, hirudíneos, turbelarios (planarias) y ácaros, pero en una proporción menor.

Hemos encontrado unos 250 taxones en la cuenca del río Henares, pero sin duda alguna hay un mayor número de especies, pues no ha sido posible identificar a este nivel ciertos grupos taxonómicos, y sistemáticamente se han identificado al nivel de familia los oligoquetos y los dípteros (tribu en el caso de los quironómidos); además, los ácaros no se han dejado a nivel inferior. En cualquier caso, el número de taxones es elevado y, desde luego, suficiente para conocer la composición aproximada de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Henares.

En primer lugar, hemos agrupado los tramos fluviales según la abundancia de los taxones presentes en cada comunidad (TWINSPAN, con la abundancia transformada mediante el logaritmo neperiano) (Figura 4). Además, para evitar las divisiones tajantes y respetar los gradientes ambientales, hemos ordenado los tramos atendiendo a la similitud de su composición taxonómica (ACC, que recoge en el plano factorial el 26% de la variación en la composición de las comunidades) (Figura 6). En esta ordenación hemos proyectado las variables ambientales que tienen mayor poder explicativo sobre la composición taxonómica (32% de la variación atribuible a las variables ambientales). Finalmente, para facilitar la interpretación de estos análisis, hemos proyectado toda esta información sobre el mapa de la cuenca del río Henares junto a los componentes principales de la fisiografía y la humanización de la cuenca (Figura 5). De esta manera podemos interpretar la relación que existe entre los diversos componentes del ecosistema fluvial: la fisiografía y la humanización de la cuenca del río Henares, las características ambientales del hábitat en cada tramo fluvial y la composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.

La primera observación es que las comunidades presentes en un mismo tramo a lo largo del año (4 estaciones) suelen agruparse juntas, lo cual significa que las diferencias geográficas y ambientales entre tramos se sobreponen a las diferencias estacionales dentro de cada tramo.

Los tramos del Sorbe sobre la presa de Beleña (So1 a So3), que pertenecen a la región silícea de la cuenca, tienen, lógicamente, comunidades propias de ríos que discurren sobre sustratos ácidos poco solubles: bajas concentraciones iónicas (aguas blandas), baja concentración de nutrientes, baja turbidez y pH más bien neutro. Estos

parámetros aumentan a lo largo del Sorbe, desde la cabecera hacia la desembocadura, como es visible en el ACC. Hay numerosos taxones característicos de estos tramos, con frecuencia no aparecen en otras regiones de la cuenca y en ocasiones son exclusivos de un solo tramo. A nivel de familia, son características de la comunidad: Aphelocheiridae, Athericidae, Capniidae, Chloroperlidae, Goeridae, Gomphidae, Hydraenidae, Leptophlebiidae, Leptoceridae, Perlidae y Planorbidae; a nivel de género-especie (oligoquetos y dípteros al nivel de familia o tribu) hay numerosos taxones característicos, recogidos en Figura 6, pero podrían utilizarse como indicadores de esta particular composición el díptero *Atherix sp.*, el efemeróptero *Epeorus sp.*, el odonato *Onychogomphus sp.*, y la ausencia del efemeróptero *Caenis pusilla*, frecuente en otras comunidades. La comunidad del tramo superior del Bornova, que también perteneciente a la región silícea, se asemeja a la presentada, pero tiene ciertas características que lo individualizan, como la elevada densidad de élmidos (en cambio, en el Sorbe la densidad de estos escarabajos es particularmente baja y *Elmis rioloides* sustituye en varios tramos a *Elmis maugetti*).

Las cabeceras de la región caliza tienen una comunidad muy diferente. En el curso alto del río Henares (He1 y He2), en el río Dulce (Du1 y Du2) y en el tramo superior del río Cañamares (Ca1) son frecuentes los macroinvertebrados de las familias Glossomatidae, Hydrobiidae (*Bythinella sp.*, en He1 y Du2), Lepidostomatidae, Perlodidae, Planariidae, Stratiomyidae y Scirtidae; y a nivel de género-especie: los élmidos *Elmis aenea* y *Riolus illiesi*, la larva del coleóptero *Hydrocyphon sp.*, el tricóptero *Lasiocephala basalis*, la planaria *Polycelis felina* y la familia de dípteros Stratiomyidae.

El tramo superior del Henares (He1), al que se asemeja el segundo tramo del río Dulce (Du2), está influido por surgencias próximas y tiene unas condiciones ambientales muy estables, en las que prosperan el gasterópodo *Bythinella sp.* y el anfípodo *Eulimnogammarus toletanus* (también presente en Ca1). En otros tramos de las cabeceras calizas aparece el gasterópodo invasor *P. antipodarum* (muy abundante en Ca1) y son más abundantes *Caenis pusilla* y los élmidos *Elmis maugetti y Esolus parallepipedus*, tanto en estadio adulto como larvario.

El segundo tramo del río Henares (He2) está parcialmente arenizado como consecuencia del cultivo de la cuenca y de la eliminación de la vegetación riparia, y en cuanto a su degradación física se agruparía con el río Salado; sin embargo, en cuanto a su composición taxonómica forma parte del grupo anterior (la estructura trófica recoge mejor el efecto de la arenización que la composición taxonómica, pues produce un aumento de la densidad y proporción de colectores).

Siguiendo el curso del río Henares, nos encontramos con la ciudad de Sigüenza, cuyo ayuntamiento no soluciona el problema ambiental de los vertidos deficientemente depurados. El tramo situado aguas abajo de la ciudad (He3) queda fuertemente contaminado y se agrupa por su composición con los tramos del curso bajo (He10 a He12), también muy contaminados. El vertido es principalmente orgánico y reduce drásticamente la concentración de oxígeno, especialmente en verano, de modo que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en las proximidades de Sigüenza es muy pobre y está compuesta de unos pocos organismos adaptados a la falta de oxígeno:

larvas de mosquito de la tribu Chirononimi, oligoquetos de las familias Tubificidae y Enchytraeidae, y dípteros de la familia Psychodidae. Pocos kilómetros aguas abajo (He4) el río Henares ya se ha recuperado parcialmente del vertido de Sigüenza y tiene una comunidad similar a la de las cabeceras calizas, si bien las densidades de macroinvertebrados bentónicos son algo mayores, probablemente debido al aumento de la producción primaria y el constante suministro de recursos alimenticios procedentes del vertido, que permitirían a los macroinvertebrados bentónicos multiplicar el número de generaciones anuales.

A continuación, el curso medio del río Henares (He5 a He7) tiene otro tipo de comunidad caracterizada por la elevada abundancia de *Caenis pusilla*, el anfípodo *Echinogammarus echinosetosum*, el tricóptero filtrador *Hydropsyche exocellata* y el tricóptero raspador *Psychomyia pusilla*, y por la presencia del élmido *Esolus pygmaeus*. A este núcleo se aproximan los tramos del Henares más próximos el curso bajo (He8 y He9) y los tramos de los afluentes al curso medio situados bajo presas (Sa2, Ca2, Ca3, Bo2, Bo3 y So5). Todos ellos pertenecen al curso medio o bajo de los ríos de la cuenca y están afectados por la regulación de caudales mediante presas; por tanto, son relativamente turbios y además suelen tener contaminación difusa debido al extenso cultivo de las cuencas, especialmente en el curso medio del Henares. Las comunidades del río Salado tienen algunas semejanzas con las del curso medio del río Henares, pero también con las del curso bajo; no obstante, tienen menor densidad y están dominadas por oligoquetos, quironómidos y por el efemeróptero *Baetis rhodani*, que tiene una amplia distribución en la cuenca del Henares y es uno de los efemerópteros más resistente a la degradación ambiental. Sin duda, la pobreza de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se debe a la elevada conductividad de las aguas del Salado, prácticamente salobres, y a la completa arenización del lecho como consecuencia del intenso cultivo de la cuenca y la eliminación de la vegetación riparia. La comunidad presente en el tramo He9, muy turbio y contaminado, se asemeja a la del río Salado.

Los tramos del curso bajo del río Henares (He10 a He12) tienen, lógicamente, las características hidrográficas propias de un curso bajo (gran anchura, elevado caudal y elevada velocidad de la corriente), pero además están fuertemente contaminados debido a la elevada industrialización y poblamiento de esta última sección del Henares. En estos tramos abundan precisamente los taxones más resistentes a la contaminación (oligoquetos, larvas de mosquito y sanguijuelas) y taxones foráneos invasores. A nivel de familia, son características las familias Cambaridae, Culicidae, Chironomidae, Erpobdellidae, Ferrisiidae, Glosiphoniidae, Naedidae, Physidae y Tubificidae; y a nivel de género-especie: la planaria *Dugesia tigrina* (exótica), los hirudíneos *Erpobdella monostritata*, *Glossiphonia complanata*, *Helobdella stagnalis*, los gasterópodos *Ferrissia wautierii* (alóctono) y *Physa fontinalis*, las tribus de dípteros Chironomini, Orthocladiinae, Tanytarsini y Culicinae, las familias de oligoquetos Naedidae y Tubificidae, y varios taxones de la familia de dípteros Simuliidae (*Simulium erythorocephalum*, *Simulium ruficorne* (exótica), *Simulium sp.* y *Wilhelmia sergenti*). Faltan, por otra parte, la mayor parte de los taxones frecuentes en otras zonas de la cuenca, incapaces de sobrevivir en estas condiciones: no hay plecópteros, ni élmidos, ni gamáridos, y sólo el ubicuo efemeróptero *Baetis rhodani* y el tricóptero filtrador *Hydropsyche exocellata* aparecen esporádicamente.

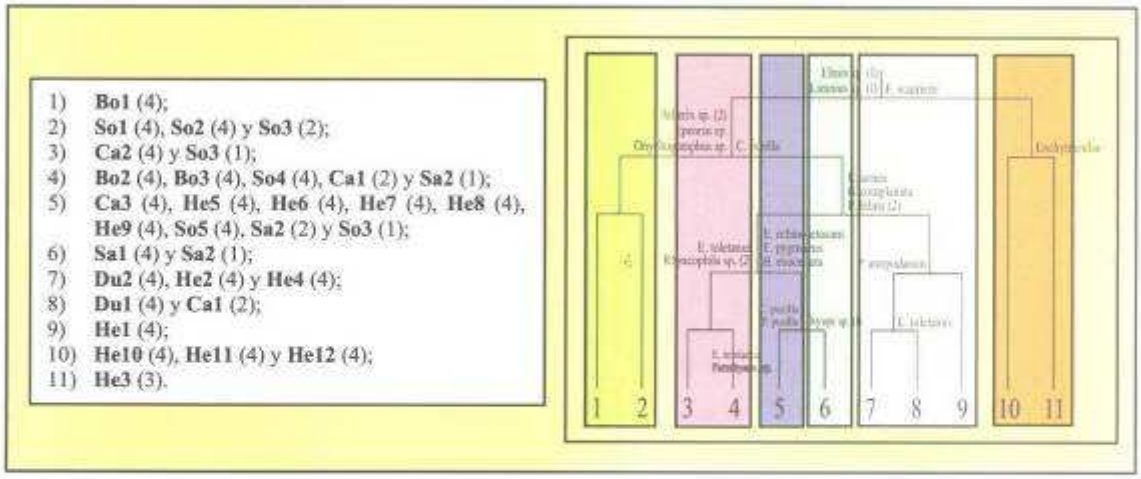

Figura 4. *Clasificación (TWINSPAN) de los tramos fluviales según la abundancia de los taxones presentes en cada comunidad (nivel taxonómico especie o género).*

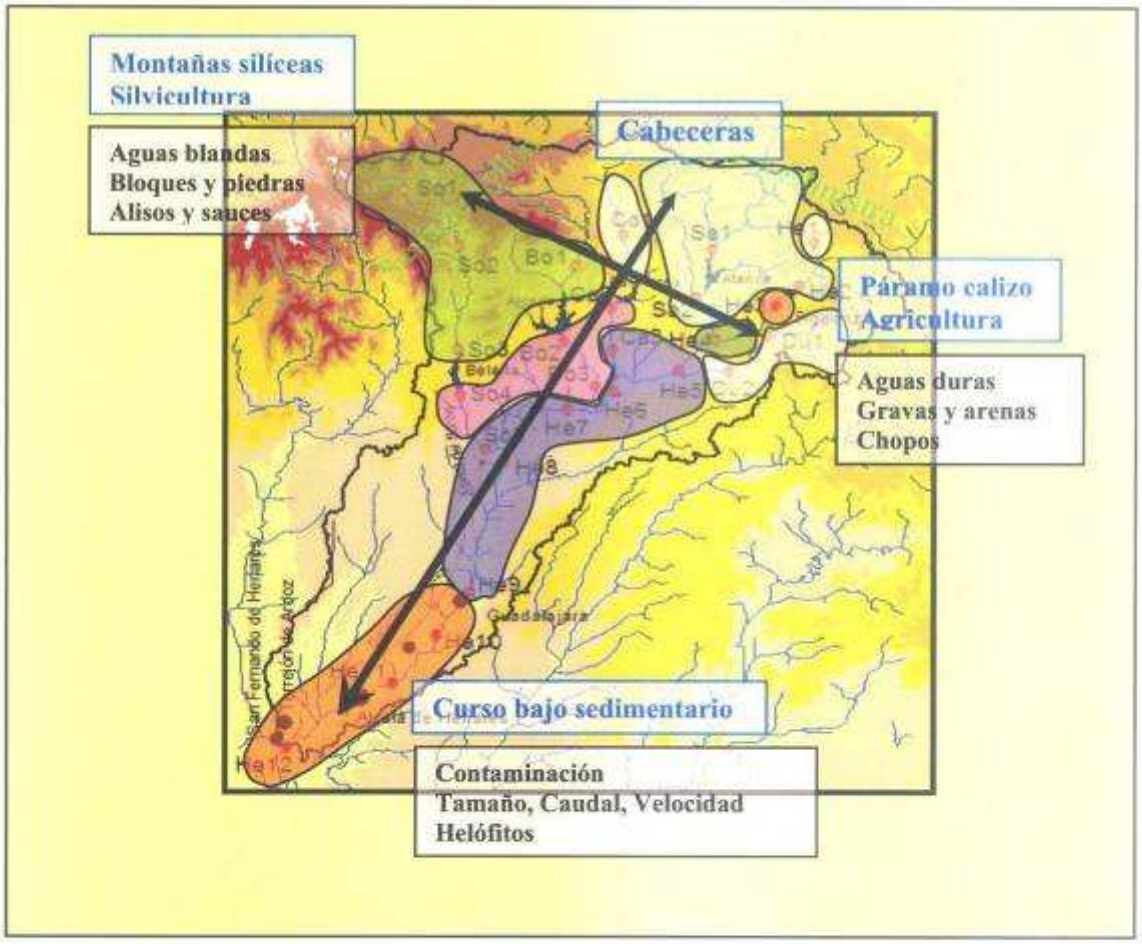

Figura 5. *Proyección geográfica de los grupos formados en la clasificación presentada en la Figura 4. Suplementariamente se proyectan las principales variaciones en las características ambientales de los tramos (en negro) y los componentes principales de la fisiografía y la humanización de la cuenca del río Henares (en azul).*

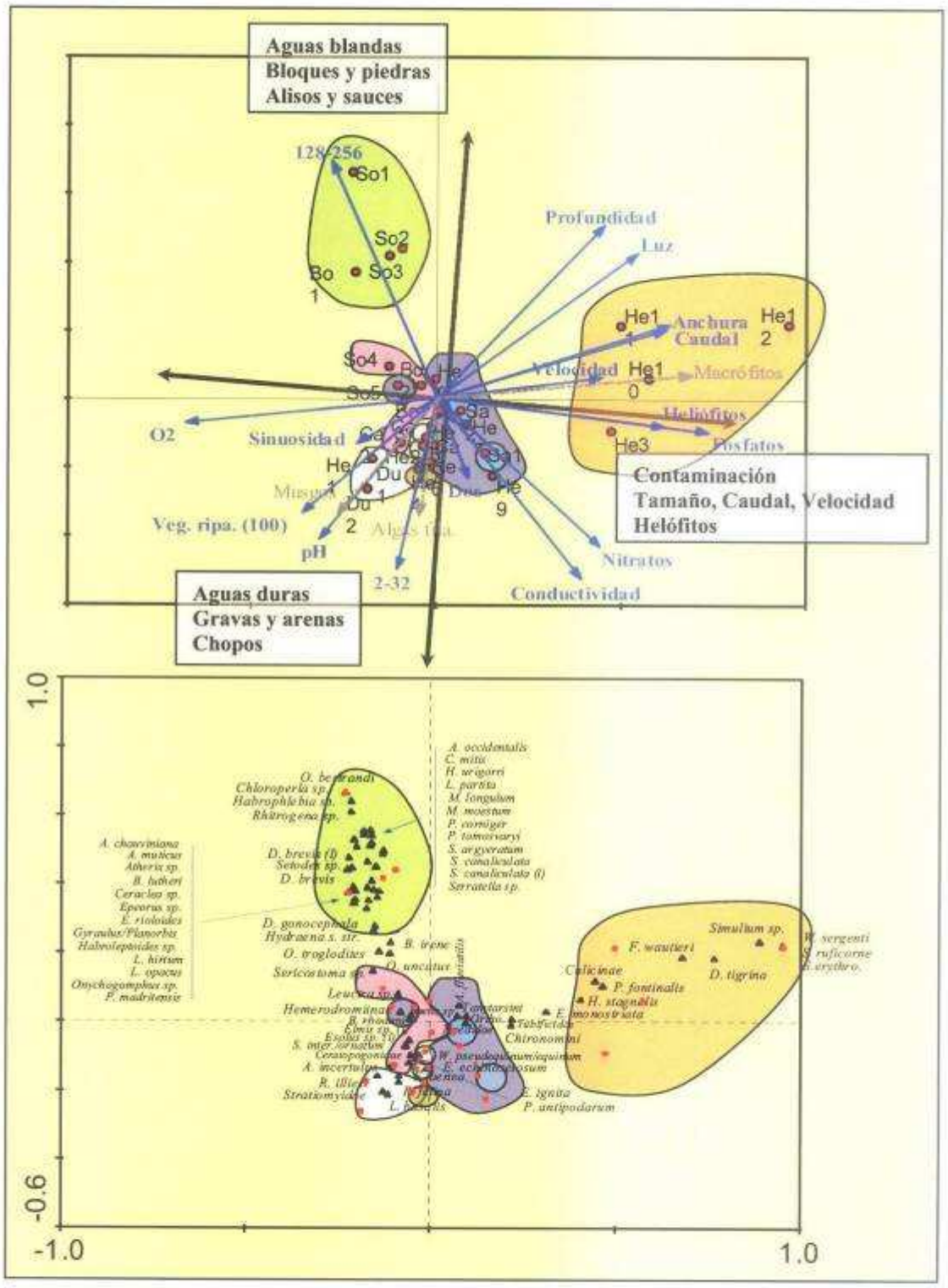

Figura 6. *Ordenación (CCA) de los tramos fluviales (arriba) y de los taxones que componen las comunidades de macroinvertebrados bentónicos al nivel de género-especie (abajo) (26% de la variación recogida en el plano factorial), y proyección de las variables ambientales con mayor poder explicativo. Suplementariamente se proyectan los grupos formados en la clasificación presentada en Figura 4.*

Conclusiones

La cuenca del río Henares abarca una extensa región geográfica donde se dan condiciones ambientales muy diversas. En cada tramo fluvial hay una comunidad de macroinvertebrados bentónicos con características específicas, pues la composición taxonómica, la estructura trófica, el perfil estratégico adaptativo, la riqueza, la diversidad, la simple densidad de macroinvertebrados bentónicos dependen de las condiciones ambientales del hábitat fluvial.

Río abajo de la ciudad de Sigüenza (He3), y en el propio curso bajo del Henares (He10-He12), como consecuencia de la contaminación generalizada, hay comunidades poco diversas, compuestas sobre todo por oligoquetos, quironómidos y sanguijuelas. En estos tramos de la cuenca la acumulación de depósitos orgánicos es tal que la densidad de invertebrados colectores puede llegar a ser monstruosa. Los valores del índice a-BMWQ (ver Tabla 3) indican claramente una calidad ecológica bastante mala.

En los cursos medios de los ríos confluyen varias alteraciones humanas: la regulación de caudales, el cultivo de la cuenca y la eliminación de la vegetación riparia. Estas alteraciones producen una contaminación difusa de las aguas y la arenización de los cauces; en consecuencia, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos son relativamente pobres, y un puñado de especies típicas de cursos medios dominan la comunidad.

Pero no todo son penurias: algunas zonas de la cuenca están bien conservadas y tienen comunidades de macroinvertebrados bentónicos bastante diversas; son la región silícea y las cabeceras de la región caliza con un buen desarrollo y conservación de la vegetación riparia, cada una de las cuales presenta comunidades propias, bien diferenciadas.

Por otra parte, aunque no presentamos datos cuantitativos sobre la abundancia de crustáceos decápodos, hemos de señalar la presencia del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*) en la cuenca del río Henares, principalmente en los tramos medios y bajos. El cangrejo autóctono (*Austropotamobius pallipes*) ha quedado aparentemente restringido a algunos tramos altos muy bien conservados y relativamente aislados.

Globalmente el panorama no es satisfactorio, pero podemos mejorarlo si nos ponemos a ello. Si esto ocurre, en unos años, al sumergirnos de nuevo en el río Henares, podremos ver un ecosistema más natural, más diverso y, sobre todo, más hermoso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "análisis integrado de los ecosistemas representativos de la cuenca del río Henares: bases para una planificación con criterios ambientales" de la Universidad de Alcalá. También ha contribuido el proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de

nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un rio contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnologia. Marcos de la Puente agradece a todo el Departamento de Ecologia de la Universidad de Alcalá el apoyo recibido desde el comienzo de su tesis doctoral (1999). Además agradece a la Comunidad de Madrid la beca predoctoral que le concedió en 1999 por un periodo de cuatro años, así como las bolsas de viaje para realizar estancias cortas en Suiza y en EEUU. Finalmente, Julio A. Camargo, como director de la tesis doctoral de Marcos de la Puente, también quiere agradecer al Departamento de Ecología y a la Comunidad de Madrid todo el apoyo prestado, con la esperanza de que en este año de 2006 Marcos termine de escribir y presente su esperada tesis doctoral.

Bibliografía Recomendada

Allan J.D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.

Camargo J.A. 1993. Macrobenthic surveys as a valuable tool for assessing freshwater quality in the Iberian Peninsula. Environ. Monitor. Assess. 24: 71-90.

Hauer F.R., Lamberti G.A. (eds.) 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press, San Diego.

Hynes H.B.N. 1960. The Biology of Polluted Waters. Liverpool University Press, Liverpool.

Hynes H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters. The Blackburn Press (2001, Reprint of First Edition), Caldwell, New Yersey.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona.

Merritt R.W., Cummins K.W., (eds.) 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America, 3rd edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

Rosenberg D.M., Resh V.H., (eds.). 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, London.

Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P. 2003. Invertebrés d'Eau Douce (Systematique, Biologie, Écologie). CNRS Editions, Paris.

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and Rivers Ecosystems, 3rd edition. Academic Press, San Diego.

VII. ALTERACIÓN DEL HÁBITAT FLUVIAL: EFECTOS SOBRE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Álvaro Alonso[1] *y Julio A. Camargo*[2]

[1]Departamento de Medio Ambiente, INIA
[2]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá

Introducción

Muchos ecosistemas fluviales sufren el efecto de la acción humana, lo que ha ocasionado en las últimas décadas el empobrecimiento de sus valores de diversidad y de calidad ecológica. Aunque habitualmente las alteraciones humanas son más intensas en los tramos medios y bajos de los ríos, debido a la localización de núcleos importantes de población y de centros industriales, cada vez es más frecuente que los tramos altos y los pequeños ríos se vean afectados por las perturbaciones antropogénicas. Entre estas caben destacar la agricultura y ganadería intensiva, los vertidos de aguas residuales sin tratamiento procedentes de pequeños núcleos de población, la eliminación de la vegetación de ribera, la rectificación del cauce natural, y la construcción de pequeñas presas. Estos tramos altos se comportan en condiciones naturales como un sistema heterotrófico en donde predomina el consumo sobre la producción autotrófica, siendo altamente dependientes de la materia orgánica que aporta la vegetación de ribera de forma que su eliminación modifica el funcionamiento del ecosistema.

Para valorar el efecto de esta y otras alteraciones se emplea la biovaloración, que consiste en cuantificar la intensidad de una perturbación en función de los cambios que ocasiona en la estructura de una comunidad biológica. Una de las comunidades más empleadas para ello es la de los macroinvertebrados bentónicos. Esta comunidad se compone de invertebrados que habitan el substrato del fondo o bentos (grava, arena, sedimentos finos, plantas sumergidas, algas filamentosas, etc.) y que a lo largo de su ciclo de vida alcanzan un tamaño superior a 0,2 mm. Estos invertebrados pueden desarrollar todo su ciclo de vida dentro del agua (moluscos, anfípodos, etc.) o solamente parte de él (dípteros, efemerópteros, tricópteros, etc.). Entre las ventajas que han hecho de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos una de las más empleadas en biovaloración hay que destacar dos: su elevada diversidad taxonómica que permite un amplio espectro de respuestas a diferentes perturbaciones humanas; su naturaleza sedentaria y sus largos ciclos de vida que permiten el seguimiento espacial y temporal de los efectos de las alteraciones. Además, el muestreo de esta comunidad es relativamente sencillo y barato lo que ha permitido una amplia difusión. Los macroinvertebrados bentónicos juegan un papel ecológico muy importante en los tramos de cabecera, por el uso que muchos de ellos hacen de la materia vegetal.

El río Henares (Cuenca del Tajo, provincias de Guadalajara y Madrid) nace en la Sierra Ministra, aproximadamente a 1.100 metros de altitud sobre el nivel del mar. Los materiales geológicos predominantes en la zona son calizas, areniscas y conglomerados. La climatología de esta zona es de tipo continental, con inviernos muy fríos y largos, mientras que los veranos son calurosos y de corta duración. La temperatura media en el mes de enero es de 2 ºC, mientras que la de agosto es de 20 ºC. La orografía es relativamente plana y con escasa pendiente, de tal forma que la estructura geológica es la que condiciona la trayectoria del río en el terreno. La vegetación de ribera está constituida principalmente por chopos (*Populus* sp.), sauces (*Salix* sp.), carrizos (*Phragmites australis*), espadañas (*Typha latifolia*) y juncos (*Scirpus holoschoenus*), aunque las zonas con una vegetación de ribera bien conservada son muy escasas debido al aprovechamiento agrícola de la llanura aluvial. Uno de los principales factores causantes de la degradación ambiental en la cabecera del río Henares es la alteración del hábitat fluvial a través de la eliminación de la vegetación leñosa de ribera y la rectificación del trazado natural del río (Foto 1).

Foto 1. *Se muestra un tramo rectificado del río Henares situado a pocos kilómetros de distancia de su nacimiento (foto Álvaro Alonso).*

La luz es un factor limitante para la producción primaria fluvial en los tramos de cabecera, debido a que la vegetación de los márgenes forma una cúpula que reduce la entrada de luz solar en la columna de agua. Esta vegetación también reduce la entrada de sedimentos y nutrientes procedentes de la escorrentía terrestre y aumenta la estabilidad térmica de la columna de agua. Además, los restos de materia orgánica que proceden de ésta vegetación son la principal fuente de alimento para muchas especies de macroinvertebrados bentónicos, siendo la base de la cadena trófica del ecosistema fluvial de cabecera.

Otro factor importante de alteración es la rectificación del trazado natural del río, que suele ir unido a la eliminación de la vegetación leñosa de ribera con el fin de poder aprovechar mejor las márgenes para el cultivo agrícola. La rectificación reduce la alternancia natural entre rápidos y remansos, modificando el régimen hídrico e incrementando la sedimentación en el lecho fluvial. En consecuencia, el principal objetivo de este trabajo ha sido valorar los efectos que la alteración del hábitat fluvial en la cabecera del río Henares (provincia de Guadalajara) causa sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Para ello se han valorado los cambios producidos en las propiedades físicoquímicas del agua, en la estructura del hábitat fluvial, y en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. Finalmente se proponen algunas medidas de conservación y restauración encaminadas a mejorar el hábitat fluvial para los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares.

Área de Estudio

Para llevar a cabo este estudio se seleccionó una zona en la cabecera del río Henares (Figura 1), la cual discurre a través de depósitos calcáreos, estando situada a unos 1.000 metros sobre el nivel del mar. Se seleccionaron, además, dos sitios de muestreo: el sitio A (o sitio 1) se localizó en el río Alboreca, en un tramo fluvial escasamente perturbado por la acción humana, donde la vegetación de ribera estaba relativamente bien conservada (alrededor de 4 m de anchura) y dominada por chopos; el sitio B (o sitio 2) se localizó en el río Henares, a 4,9 km aguas abajo del sitio A, en un tramo fluvial claramente rectificado, donde la vegetación de ribera estaba muy degradada y dominada por el carrizo (Foto 1).

Análisis Físico-químicos y Biológicos

En los dos sitios de muestreo, durante tres ocasiones (Mayo, Junio y Julio de 2002), se midieron *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos: concentración de oxígeno disuelto, conductividad, caudal, y estabilidad térmica. La estabilidad térmica del agua se estimó como la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima mensuales. Además, cada mes se tomaron muestras de agua en botes de vidrio (60 mL) y en botes de polietileno (250-500 mL) para el análisis en el laboratorio de los siguientes parámetros: pH, cloruro (Cl^-), calcio (Ca^{2+}), alcalinidad (total $CaCO_3$), nitrato (NO_3-N), amonio (NH_4-N) y fosfato (PO_4-P).

Figura 1. *Se muestra el área de estudio en la cabecera del río Henares.*

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos fue muestreada en una ocasión (Junio de 2002). En cada sitio se tomaron cinco muestras del bentos fluvial por medio de un muestreador del tipo Hess, que estaba equipado con una red de luz de malla de 0,250 mm y tenía un diámetro en la base de 23,5 cm (Foto 2). Después se introducían las muestras en botes de plástico y se empleó formol para su conservación. Ya en el laboratorio, los macroinvertebrados se identificaban en su mayoría al nivel de especie-género con la ayuda de una lupa binocular. Solamente se llegó al nivel de familia, subfamilia o tribu para los dípteros (a excepción de las familias Simuliidae, Dixidae y Athericidae) y los oligoquetos. Los individuos de cada taxón fueron cuantificados en número, estimándose también su biomasa en miligramos de peso seco.

Foto 2. *Muestreador del tipo Hess empleado para muestrear la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares (foto Álvaro Alonso).*

Con toda la información de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos se calcularon varios métricos (Tabla 1) que son usados frecuentemente en biovaloración y ecología fluvial. No obstante, el índice biótico t-BMWQ', basado en el sistema de puntuación Biological Monitoring Water Quality (BMWQ) que fue desarrollado por Julio A. Camargo para los ríos de la Península Ibérica, en especial para aquellos del centro y norte peninsular, ha sido menos utilizado. El sistema BMWQ otorga una puntuación de 1 a 15 para las diferentes familias taxonómicas de macroinvertebrados en función de su tolerancia a la contaminación (orgánica, principalmente): las familias más tolerantes reciben un valor numérico menor, mientras que las familias más sensibles reciben un valor numérico mayor. El t-BMWQ' se calcula como la suma total de las puntuaciones ponderadas por la abundancia relativa de cada familia (suplementario al t-BMWQ y al a-BMWQ; ver Capítulo VI). A pesar de ser un índice desarrollado para valorar la contaminación se puede usar con éxito en otros tipos de perturbación.

Tabla 1. *Métricos basados en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos empleados para valorar el efecto de la rectificación fluvial en la cabecera del río Henares.*

Métrico	Definición
Densidad total (T-d)	Número total de individuos
Densidad de Oligochaeta (O-d)	Número de individuos en Oligochaeta
Densidad de Chironomidae (C-d)	Número de individuos en Chironomidae
Densidad de Baetidae (B-d)	Número de individuos en Baetidae
Densidad de Planariidae (P-d)	Número de individuos en Planariidae
Densidad de *Ephemerella* (E-d)	Número de individuos en *Ephemerella* sp.
Riqueza total (T-r)	Número de taxones en la comunidad
Riqueza de EPT (EPT-r)	Número de taxones en Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera
Riqueza de Plecoptera (P-r)	Número de taxones en Plecoptera
Dominancia de Camargo (C-d)	Índice de dominancia de Camargo
Diversidad de Camargo (C-dv)	Índice de diversidad de Camargo
Biomasa total (T-b)	Biomasa seca total en la comunidad
t-BMWQ'	El valor total del índice BMWQ calculado en base a las abundancias relativas de las diferentes familias de macroinvertebrados

El hábitat físico fluvial se caracterizó en Mayo de 2002. En cada sitio de muestreo se realizaron 10 transectos equidistantes que abarcaban la anchura inundada. En cada transecto se realizaron 10 observaciones puntuales, a intervalos regulares de distancia, de la presencia de plantas acuáticas (sumergidas, flotantes o emergidas) y del tipo de substrato mineral presente en cada punto (<2, 2-16, 16-32, 32-64, 64-128, 128-256 o >256 mm de diámetro máximo). Con todos estos datos se estimó la frecuencia de aparición de plantas acuáticas y la frecuencia de cada tipo de substrato mineral (número de observaciones positivas entre el total de observaciones por cien). Adicionalmente, en cada punto del transecto, se midieron la profundidad del agua, la velocidad de la corriente, y la anchura de la zona inundada, obteniéndose tanto el valor medio como los valores máximo y mínimo.

Resultados

Propiedades físico-químicas del agua:

Los resultados para los diferentes parámetros físico-químicos medidos en la cabecera del río Henares se muestran en Figura 2. El sitio de muestreo rectificado presentó una mayor concentración de oxígeno disuelto y cloruro y una mayor conductividad y pH (P<0.05; t-test). Este mismo sitio mostró una menor estabilidad térmica y menor alcalinidad que el sitio A (P<0.05; t-test). El resto de parámetros físico-químicos no mostraron diferencias estadísticas entre sitios de muestreo (P>0.05; t-test o Kruskal-Wallis test).

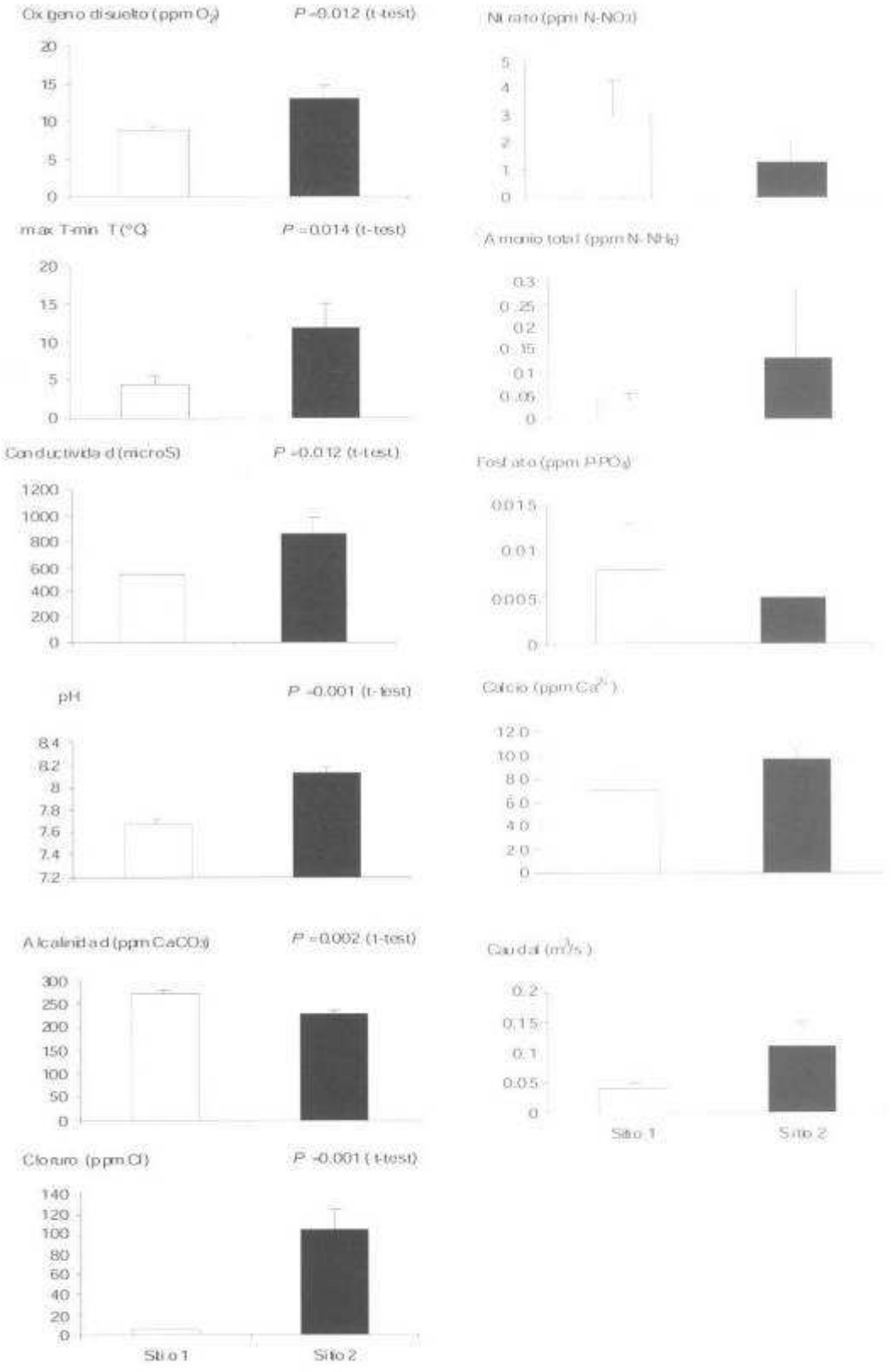

Figura 2. *Se muestran los valores medios (±DE) de los parámetros físico-químicos medidos en los sitios 1 (A) y 2 (B) de la cabecera del río Henares (ppm = mg/L).*

Métricos basados en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos:

Los valores para los diferentes métricos se muestran en Figura 3. El sitio rectificado presentó una mayor densidad total de macroinvertebrados (T-d), oligoquetos (O-d), quironómidos (C-d) y del género *Ephemerella* sp. (E-d) ($P<0.05$; t-test o U-Mann Whitney). El único grupo que presentó una mayor densidad en el sitio de referencia (sitio A) fue la familia Planariidae ($P<0.05$; t-test). Este mismo sitio mostró una mayor riqueza del grupo Plecoptera (P-r) y una mayor calidad biótica (t-BMWQ') ($P<0.05$; t-test o U-Mann Whitney). Los demás métricos empleados no mostraron diferencias significativas entre sitios, aunque en general los métricos de riqueza (T-r y EPT-r) y el de diversidad (C-dv) tendieron a ser mayores en el sitio 1 ($P>0.05$; t-test). Se observó la tendencia contraria para el índice de dominancia (C-d) y la densidad de la familia Baetidae (B-d) ($P>0.05$; t-test o U-Mann Whitney) (Figura 3).

Características del hábitat fluvial:

En Tabla 2 se recogen los resultados para la caracterización del hábitat fluvial en ambos sitios de muestreo. El sitio B presentó un substrato mineral dominado por partículas minerales inferiores a 2 mm de diámetro máximo (98%), mientras que el sitio A mostró para este tamaño de partícula una frecuencia del 16%. El sitio A presentó además una mayor heterogeneidad de substrato mineral en comparación con el sitio B. En cuanto a la frecuencia de plantas acuáticas, el sitio B presentó el mayor valor (60.3% frente al 24% en el sitio A). También el sitio B presentó la mayor anchura y profundidad de la zona inundada, su velocidad de corriente siendo sin embargo menor.

Discusión

El presente estudio ha mostrado como la rectificación del cauce fluvial afecta a varias propiedades físico-químicas del agua, a la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, y a las características del hábitat fluvial en la cabecera del río Henares. La rectificación y/o canalización fluvial pretende entre otros, aumentar la superficie de cultivo, controlar las crecidas, y mejorar el drenaje de las cuencas. No obstante tiene graves consecuencias, produciendo entre otros efectos una pérdida en la heterogeneidad del hábitat fluvial. Parte de esa pérdida se debe al incremento de sedimento fino, el cual ocasiona el taponamiento de los intersticios del lecho fluvial, reduciendo la disponibilidad de hábitats para los macroinvertebrados.

En nuestro estudio el tramo B presentó un lecho cubierto en el 98% con material mineral fino (menos de 2 mm de diámetro máximo). Este material, además de taponar los intersticios del lecho, puede ocasionar efectos abrasivos sobre las branquias de muchos macroinvertebrados aumentando la mortalidad y la deriva de los mismos, lo cual se traduce en una menor densidad y/o diversidad para este grupo de animales. Esto parece ocurrir con la riqueza de plecópteros, que se ve drásticamente reducida en este tramo. No obstante, otros factores como la escasa estabilidad térmica también pudieron influir en este hecho, ya que este grupo requiere de unas condiciones térmicas estables para poder completar sus ciclos vitales.

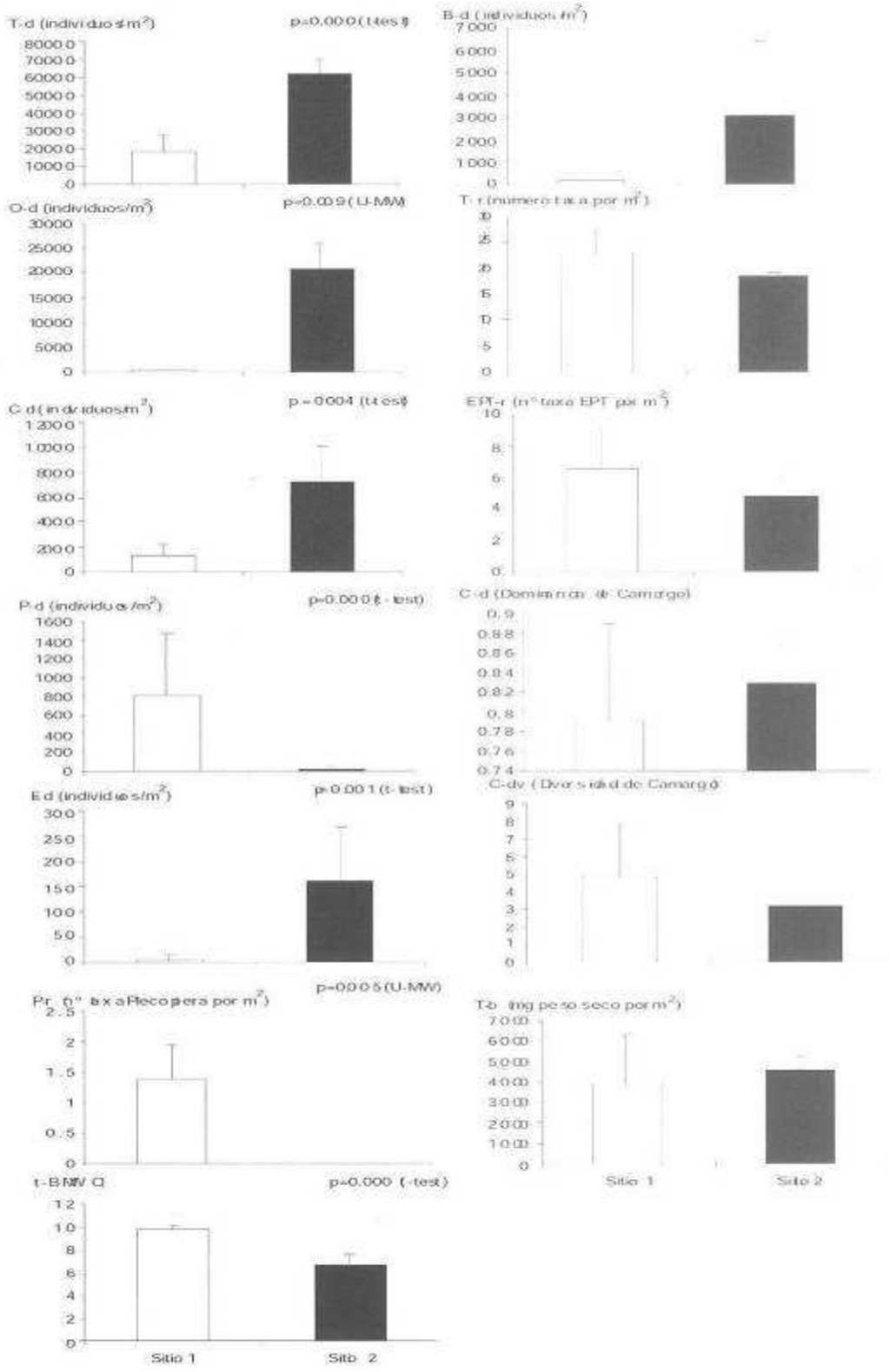

Figura 3. *Se muestran los valores medios (±DE) de los métricos biológicos estimados en los sitios 1 (A) y 2 (B) de la cabecera del río Henares.*

Tabla 2. *Propiedades del hábitat fluvial en los dos sitios de muestreo.*

Propiedades del hábitat fluvial	Sitio A	Sitio B
Frecuencia partículas minerales:		
<2 mm (sedimento fino)	16	98
2-16 mm	18	0
16-32 mm	11	1
32-64 mm	15	0
64-128 mm	14	1
128-256 mm	1	0
>256 mm	25	0
Frecuencia plantas acuáticas:	24	60,3
Sumergidas	24	14,4
Emergidas	0	35,1
Flotantes	0	10,8
Anchura zona inundada (cm) (max-min)	184 (240-140)	275 (310-230)
Profundidad zona inundada (cm) (max-min)	8,8 (30-0)	13,8 (32-1)
Velocidad del agua (cm/s) (max-min)	14,9 (70-0)	9,5 (34-0)

Por el contrario, los otros métricos de riqueza (riqueza Total y de EPT) y de diversidad (índice de diversidad de Camargo) no mostraron diferencia significativas, aunque en el sitio B tendieron a presentar unos valores más bajos. Esto puede indicar, al menos para el caso de la cabecera del río Henares, como la rectificación parece promover una sustitución de especies y/o variaciones en sus densidades, más que una pérdida general de taxones.

No ocurrió lo mismo para la calidad ecológica o biótica (t-BMWQ'), puesto queel tramo rectificado presentó un valor más bajo que el tramo de referencia. La posible causa del bajo valor encontrado para este índice en el sitio rectificado se puede deber al hecho de que el incremento de sedimentos finos favorece a determinados grupos de macroinvertebrados, entre ellos muchos dípteros y oligoquetos, que reciben un valor numérico bajo en el sistema de puntuación BMWQ. Por el contrario los grupos con mayor valoración (como son muchos plecópteros) no suelen vivir en este medio y por tanto el valor del índice se reduce en zonas rectificadas debido a su ausencia o baja abundancia relativa. De esta manera, es evidente que el t-BMWQ' puede ser un buen índice para valorar este tipo de degradación del hábitat fluvial.

A pesar de la clara reducción del grado de heterogeneidad en el hábitat mineral del sitio B en comparación con el sitio A o de referencia, aquel presentó una mayor frecuencia de plantas acuáticas, lo cual podría compensar hasta cierto punto su escasa heterogeneidad en el hábitat mineral. Está demostrado que la mayoría de los grupos de macroinvertebrados prefieren vivir en hábitats más estables que en los sedimentos finos. Por otro lado, al igual que para el sedimento fino, hay determinados grupos que se ven favorecidos por la presencia de plantas sumergidas. Tal es el caso de las larvas de los dípteros de la familia Chironomidae que pueden utilizarlas directa o indirectamente como un recurso trófico, o emplearlas como soporte para fijar sus tubos gelatinosos, y como refugio para evitar la depredación.

El microambiente (velocidad alta) que se crea alrededor de las plantas sumergidas puede proporcionar un beneficio a las larvas de los dípteros de la familia Simuliidae, las cuales se alimentan filtrando las partículas en suspensión que se encuentran en la columna de agua. La larva del tricóptero perforador *Hydroptila* sp. emplea las plantas acuáticas como fuente directa de alimento, y se han encontrado altas densidades en áreas colonizadas por plantas sumergidas. Como podemos observar son muchos los grupos de macroinvertebrados que emplean las plantas acuáticas, esto podría explicar el gran incremento en la densidad total y en la familia Chironomidae encontrados en el tramo rectificado.

En cuanto a los parámetros físico-químicos cabe destacar el elevado nivel de oxígeno disuelto medido en el tramo rectificado (sitio B) con respecto al tramo bien conservado o de referencia (sitio A). La explicación a este fenómeno puede deberse a la gran abundancia de plantas acuáticas, cuya actividad fotosintética puede incrementar las concentraciones de oxígeno disuelto durante las horas de luz, y en general modificar el régimen de concentración de oxígeno disuelto. La mayor concentración de cloruro en el sitio B pudo deberse a que este tramo recoge una mayor superficie de cuenca, pues es un tramo de orden 2 frente al sito A que es de orden 1, y por tanto al ser una zona agrícola puede incrementarse la concentración de este ión por el uso de fertilizantes y el lavado del terreno a través de procesos de escorrentía.

Medidas de Conservación y Restauración

El río Henares a lo largo de las últimas décadas ha experimentado diferentes alteraciones que han empeorando sus valores paisajísticos, culturales y ecológicos. Prácticamente desde su nacimiento se encuentra rectificado para usos agrícolas lo que produce un grave efecto paisajístico y ecológico. Antes estos hechos es necesario un cambio en los usos y una mejora de su calidad ecológica a través de la restauración de su cuenca. Para intentar mejorar esta calidad proponemos una serie de actuaciones en sus tramos altos, especialmente centrados en la mejora del hábitat para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (Tabla 3).

El primer paso sería recuperar la geomorfología natural del río, incrementando su espacio disponible por medio de una reducción de las pendientes laterales y recuperando la sinuosidad fluvial (Figura 4). Estas intervenciones permitirían, entre otras cosas, incrementar la alternancia entre rápidos y remansos, favorecer el establecimiento y crecimiento natural de la vegetación de las orillas, y reducir los efectos adversos de la agricultura. Todo ello favorecería la implantación de la vegetación leñosa en las orillas, lo cual permitiría reducir el grado de insolación en la columna de agua, incrementando la estabilidad térmica y favoreciendo una comunidad de macroinvertebrados más natural. No obstante, debido a que muchos grupos de macroinvertebrados necesitan de un substrato mineral heterogéneo, se propone la implantación en el lecho fluvial de una serie de estructuras y materiales. Entre estos cabe destacar los deflectores de ala, los cuales se sitúan en las orillas y permiten el mantenimiento de rápidos en las épocas de estiaje (Figura 4). Los rápidos son zonas de especial importancia a la hora de mantener una comunidad de macroinvertebrados abundante y diversa.

Tabla 3. *Propuestas de mejora del hábitat fluvial para los macroinvertebrados bentónicos de la cabecera del río Henares.*

Propuesta de restauración	Objetivos buscados
Incrementar el espacio fluvial	- Se reducen los efectos adversos de la agricultura. - Permite recuperar la sinuosidad fluvial. - Se incrementa el espacio para el asentamiento de la vegetación de ribera.
Reducir las pendientes laterals	- Facilitar el asentamiento y crecimiento de la vegetación riparia - Incrementar la conectividad entre el río y la vegetación de ribera.
Reconstrucción de los meandros fluviales	- Restaurar la morfología natural del río. - Incrementar la heterogeneidad del hábitat (rápidos y pozas). - Incrementar la heterogeneidad del flujo de agua. - Incrementar la conectividad entre el río y la vegetación riparia. - Reducir la frecuencia de plantas acuáticas.
Recuperar la vegetación riparia (ribereña) natural	- Proporcionar materia orgánica alóctona a los macroinvertebrados bentónicos. - Incrementar la heterogeneidad del hábitat orgánico (hojas, raicillas, ramas, etc.). - Incrementar la estabilidad térmica de la columna de agua. - Reducir el crecimiento de plantas acuáticas emergentes. - Reducir la entrada de sedimento mineral fino.
Deflectores en ala	- Concentrar el caudal. - Mantenimiento de rápidos en épocas de estiaje. - Incrementar la heterogeneidad del hábitat mineral. - Incremento de la turbulencia y oxigenación del agua.
Substrato mineral grueso, piedras, bolos y presas de bolos	- Incrementar la heterogeneidad del hábitat mineral. - Incrementar la superficie hábil disponible. - Incremento de la turbulencia y oxigenación del agua. - Incrementar la capacidad de retención de materia orgánica alóctona.
Restos de madera y presas construidas con restos de madera	- Incrementar la heterogeneidad del hábitat orgánico. - Evitar la erosión de los márgenes fluviales. - Incrementar la capacidad de retención de materia orgánica alóctona. - Favorece el asentamiento de la vegetación de ribera.

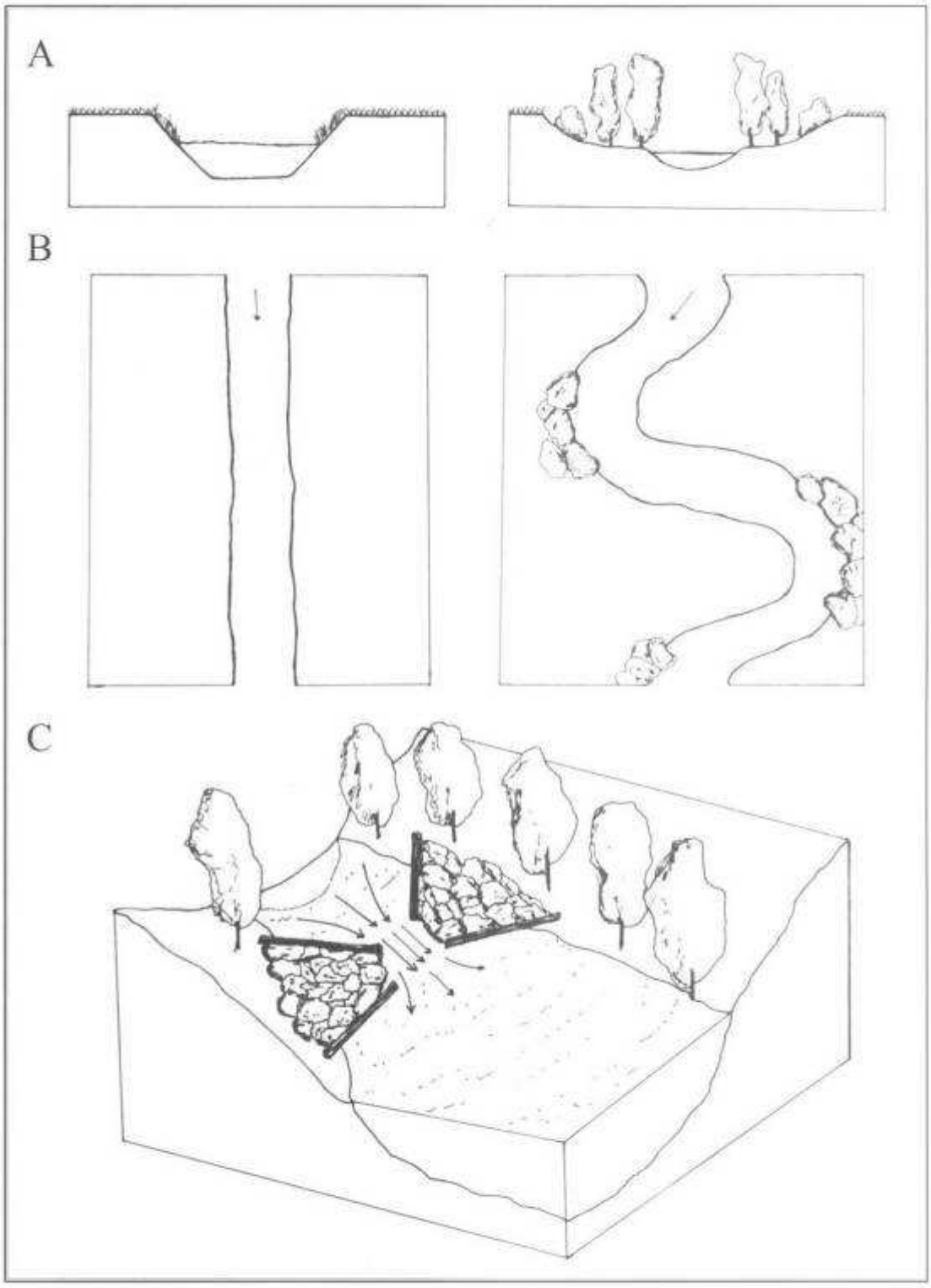

Figura 4. *Propuestas de restauración para la cabecera del rio Henares. A) reducción de pendientes laterales, incremento del espacio fluvial y revegetación de las orillas. B) recuperación de la sinuosidad fluvial y refuerzo de márgenes exteriores de meandros por medio de material rocoso. C) deflectores en ala para el mantenimiento de rápidos.*

La implantación de materiales minerales gruesos (piedras, bolos, etc.) y de restos de madera (troncos, ramas gruesas, etc.) en el bentos fluvial tiene varias utilidades en restauración fluvial, por un lado se aumenta la superficie hábil disponible para los macroinvertebrados y por otro se incrementa la capacidad de retención de materia orgánica alóctona. Además permite la creación de microambientes y refugios para la fauna acuática.

El incremento de la capacidad de retención es muy importante para mantener una comunidad de macroinvertebrados rica en desmenuzadores como corresponde a una tramo fluvial de cabecera en condiciones naturales. Estas estructuras incrementan también la turbulencia y por tanto la oxigenación de la columna de agua, aspecto que favorece a la mayoría de grupos de animales acuáticos.

Otras medidas útiles son la implantación en las zonas con mayor riesgo de erosión (márgenes exteriores de meandros) de restos de material vegetal o materiales minerales gruesos. Estas estructuras reducen la erosión en las orillas y favorecen el asentamiento de la vegetación leñosa.

Sin embargo, todas estas medidas de restauración no serán eficaces si no se toman las medidas encaminadas a una buena conservación de la cuenca del río Henares. Para ello sería necesario implementar medidas para la realización de unas buenas prácticas agrícolas, de tal forma que la conservación y restauración resulten ser integrales y eficaces.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un río contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Álvaro Alonso disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Castilla-La Mancha.

Bibliografía Recomendada

Allan J.D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.

Alonso A., Camargo J.A. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Ecosistemas 14: Septiembre-Diciembre.

Brookes A., Shields Jr. F.D, (eds.). 1996. River Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects. John Wiley & Sons, Chichester.

Camargo J.A. 1993. Macrobenthic surveys as a valuable tool for assessing freshwater quality in the Iberian Peninsula. Environ. Monitor. Assess. 24: 71-90.

Flosi G., Downie S., Hopelain J., Bird M., Coey R., Collins B. 1998. California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual (3rd edition). California Department of Fish and Game, Inland Fisheries Division, California.

González del Tánago M., García de Jalón D. 1995. Restauración de Ríos y Riberas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.

Hauer F.R., Lamberti G.A. (eds.) 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press, San Diego.

Hunter C.J. 1991. Better Trout Habitat: A Guide to Stream Restoration and Management. Montana Land Reliance and Island Press, Washington, DC.

Hynes H.B.N. 1960. The Biology of Polluted Waters. Liverpool University Press, Liverpool.

Hynes H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters. The Blackburn Press (2001, Reprint of First Edition), Caldwell, New Yersey.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona.

Merritt R.W., Cummins K.W., (eds.) 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America, 3rd edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

National Research Council. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems. National Academic Press, Washington, DC.

Rosenberg D.M., Resh V.H., (eds.). 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, London.

Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P. 2003. Invertebrés d'Eau Douce (Systematique, Biologie, Écologie). CNRS Editions, Paris.

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and Rivers Ecosystems, 3rd edition. Academic Press, San Diego.

VIII. RIESGO ECOTOXICOLÓGICO DE COMPUESTOS NITROGENADOS PARA LOS MACROINVERTEBRADOS

Álvaro Alonso[1] *y Julio A. Camargo*[2]

[1]Departamento de Medio Ambiente, INIA
[2]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá

Introducción

En la actualidad, la contaminación directa por materia orgánica, la agricultura intensiva con abonos y fertilizantes, algunas actividades industriales, y el uso masivo de combustibles fósiles están contribuyendo a incrementar de forma significativa las concentraciones de nutrientes inorgánicos en los ecosistemas acuáticos, ocasionando el conocido fenómeno de la eutrofización cultural. Este fenómeno produce graves alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas afectados, de forma que hoy día la eutrofización es uno de los problemas más graves que afectan a los ecosistemas acuáticos a una escala global.

Muchos de los estudios llevados a cabo sobre el tema se han centrado principalmente en los efectos indirectos sobre las comunidades acuáticas (alteraciones de la estructura trófica, fitotoxicidad, disminución del oxígeno disuelto, etc.) y directos sobre la salud humana, mientras que los efectos directos (toxicidad) de los nutrientes sobre los organismos acuáticos han sido comparativamente menos estudiados, probablemente porque se ha minusvalorado su toxicidad sobre los organismos acuáticos al creer que solo se produce bajo condiciones extremas. Sin embargo, trabajos recientes han modificado esta idea al indicar que algunas especies de animales presentan una elevada sensibilidad a la toxicidad directa de los nutrientes inorgánicos nitrogenados a niveles normales de oxígeno disuelto.

Dentro de la contaminación por nutrientes, el amoniaco (NH_3+NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-) ocupan un lugar preferente. Estos compuestos nitrogenados pueden aparecer en los ecosistemas acuáticos de forma natural como consecuencia de la descomposición biológica de la materia orgánica, la deposición atmosférica, la escorrentía superficial y subterránea, la disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, y la fijación de nitrógeno por ciertos microorganismos procarióticos (cianobacterias, principalmente). No obstante, diversas actividades humanas están incrementando su concentración en los ecosistemas acuáticos: escorrentías en zonas agrícolas y ganaderas, vertidos de estaciones de tratamiento de aguas residuales, vertidos industriales y urbanos, y deposición de contaminantes atmosféricos.

El amoniaco no ionizado (NH_3) se encuentra en equilibrio químico con el amoniaco ionizado o ión amonio ($NH_4^+ + OH^- \leftrightarrow NH_3 \cdot H_2O \leftrightarrow NH_3 + H_2O$). Este equilibrio está controlado principalmente por el pH y la temperatura del agua, de tal forma que un aumento del pH y/o de la temperatura tiende a incrementar la concentración de amoniaco no ionizado (ver Figura 1). La toxicidad del amoniaco total para los organismos acuáticos se relaciona sobre todo con la forma no ionizada (NH_3), debido principalmente a su elevada solubilidad en lípidos, lo que facilita su paso a través de las membranas biológicas. Entre los efectos tóxicos que puede producir en animales hay que destacar los siguientes: alteraciones en el movimiento, inhibición del consumo de alimento, alteraciones en el metabolismo y la respiración, incremento de la susceptibilidad a enfermedades infecciosas, y por último la muerte.

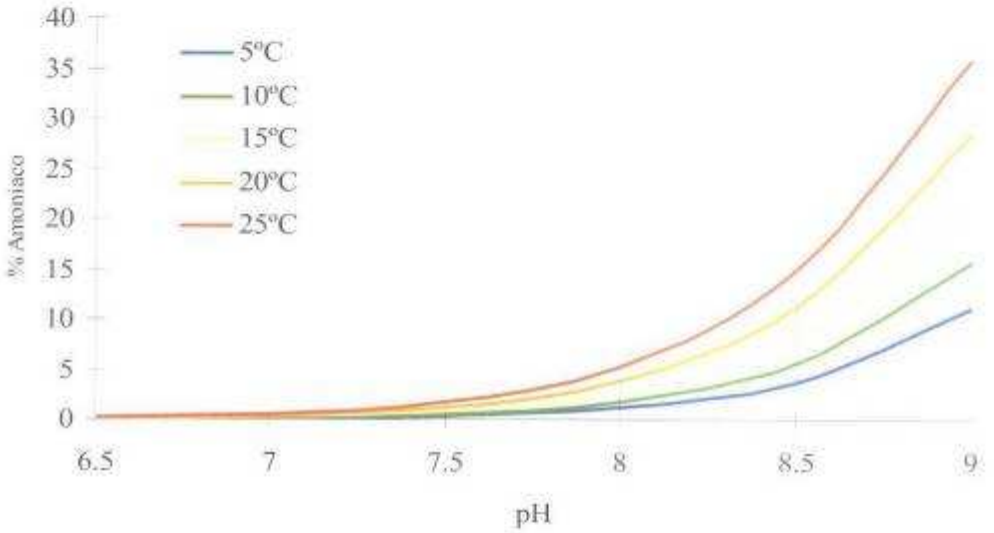

Figura 1. *Porcentaje de amoniaco no ionizado (NH_3) en relación con el amoniaco total ($NH_4^+ + NH_3$) en función del pH y la temperatura del agua.*

En el caso del nitrito, la toxicidad en animales se debe principalmente a la gran capacidad de este compuesto nitrogenado para oxidar el hierro del pigmento respiratorio hemoglobina, produciendo metahemoglobina, que es una molécula con menor capacidad para transportar el oxígeno, lo cual puede causar asfixia. El nitrito causa un efecto similar en el cobre de la hemocianina, que es el pigmento respiratorio de crustáceos y muchos otros invertebrados, produciendo metahemocianina. El ión nitrito penetra en el interior de los animales acuáticos a través de las células que captan el ión cloruro (Cl^-), localizadas generalmente en las branquias, de tal forma que cuando el Cl^- se encuentra a concentraciones elevadas en el agua puede ejercer un efecto protector frente a la toxicidad del NO_2^- al inhibir competitivamente la captación de este anión.

La acción tóxica del nitrato se basa en el mismo mecanismo que la del nitrito, pues una vez absorbido a través de las branquias tiene que ser reducido a nitrito para poder causar toxicidad en los animales acuáticos. No obstante, como la permeabilidad branquial para el nitrato es significativamente menor que para el nitrito y el amoniaco, la toxicidad del NO_3^- resulta ser bastante más baja que la toxicidad del NO_2^- y NH_3.

Entre los organismos acuáticos que pueden ser afectados por estos compuestos nitrogenados hay que destacar a los macroinvertebrados bentónicos. Estos animales constituyen una comunidad formada por invertebrados que habitan el substrato del fondo o bentos (grava, arena, sedimentos finos, plantas sumergidas, algas filamentosas, etc.) y que a lo largo de su ciclo de vida alcanzan un tamaño superior a 0,2 mm. Pueden desarrollar todo su ciclo de vida dentro del agua (moluscos, anfípodos, etc.) o solamente parte de él (dípteros, efemerópteros, tricópteros, etc.). Muchos macroinvertebrados se han mostrado especialmente sensibles a varios compuestos tóxicos, lo que les hace muy adecuados para estudios de ecotoxicología. No obstante, la creencia inicial de que los macroinvertebrados eran relativamente insensibles a la toxicidad del amoniaco, el nitrito y el nitrato, centró la mayoría de los estudios toxicológicos para estos compuestos nitrogenados en los peces. Esta tendencia ha ido cambiando en los últimos años ya que varias especies de macroinvertebrados han mostrado una alta sensibilidad a la toxicidad del amoniaco. En el caso del nitrito y el nitrato, el conocimiento de su toxicidad para los macroinvertebrados dulceacuícolas es bastante escaso.

El río Henares se ve afectado por numerosas perturbaciones humanas, entre las más frecuentes podemos destacar la agricultura intensiva y los vertidos urbanos e industriales. Esto ha generado un importante incremento de las concentraciones de los compuestos nitrogenados en sus aguas, lo que puede ocasionar efectos adversos sobre la fauna acuática. Dentro de esta fauna la comunidad de macroinvertebrados representa una parte importante en biomasa y es la fuente principal de alimento para los peces. Además esta comunidad permite el procesamiento de la materia orgánica alóctona (hojas, ramas, restos de raíces, etc.) que entra en el río, especialmente en los tramos de cabecera, donde este tipo de materia es la principal fuente de alimento. Debido a su importancia ecológica se hace necesario realizar una valoración del riesgo ecotoxicológico que suponen los compuestos nitrogenados para este grupo de animales, en especial para las poblaciones que habitan la cabecera del río Henares. En consecuencia, el primer objetivo de este trabajo ha sido examinar la toxicidad a corto plazo del amoniaco, nitrito y nitrato sobre algunas especies de macroinvertebrados que están presentes en la cabecera del río Henares (provincia de Guadalajara), bajo condiciones de laboratorio. El segundo objetivo de este trabajo ha sido determinar concentraciones seguras a corto plazo para los tres compuestos nitrogenados que permitan salvaguardar a este grupo de animales. Ambos objetivos son necesarios para poder llevar a cabo una valoración del riesgo ecotoxicológico de dichos compuestos nitrogenados. Indicar, por último, que las concentraciones expresadas en este trabajo están referidas a la cantidad de nitrógeno en el amoniaco, nitrito o nitrato.

Metodología

Selección, recolección y aclimatación de los macroinvertebrados:

Para este trabajo se seleccionaron cuatro especies de macroinvertebrados que habitan el río Henares: el caracol *Potamopyrgus antipodarum* (Gray) (=*P. jenkinsi* Smith) (Hydrobiidae, Mollusca), la planaria *Polycelis felina* (Dalyell) (Planariidae, Tricladida), y los anfípodos *Echinogammarus echinosetosus* (Pinkster) (Gammaridae, Crustacea) y *Eulimnogammarus toletanus* (Pinkster y Stock) (Gammaridae, Crustacea).

El pequeño caracol *P. antipodarum* es nativo de Nueva Zelanda, pero se ha establecido como especie exótica e invasora en Australia, Europa y América del Norte. Además, esta especie ha sido encontrada en ecosistemas con elevada contaminación por materia biodegradable. La posible tolerancia a los compuestos nitrogenados podría ser una de las causas de su éxito como colonizador de ecosistemas degradados. Por otro lado, tanto las planarias como los anfípodos son importantes componentes del ecosistema fluvial: las primeras cumplen el papel trófico de depredadores, ya que se alimentan de otros invertebrados vivos, mientras que los segundos desmenuzan la materia orgánica gruesa de origen vegetal que entra en el rio y son por tanto detritívoros.

Los macroinvertebrados fueron recolectados en ciertos tramos de la cabecera del río Henares (Guadalajara) que, aparentemente, no estaban sometidos a ningún tipo de contaminación: anfípodos y caracoles por medio de una red de mano de 0,250 mm de luz de malla; las planarias separándolas de las piedras recogidas del lecho fluvial mediante un pincel blando. Una vez recolectados, los animales fueron transportados al laboratorio en contenedores de plástico con agua de los tramos de recolección.

En el laboratorio los macroinvertebrados eran introducidos dentro de acuarios con el agua base de los experimentos. Este agua (agua mineral embotellada sin cloro) presentaba unas propiedades físico-químicas similares a las del agua de la cabecera del río Henares. La aclimatación al agua base duró una semana para cada especie. Durante esta aclimatación las planarias fueron alimentadas con hígado de pollo, mientras que los anfípodos y caracoles fueron alimentados con hojas maceradas de chopo y algunas plantas acuáticas procedentes de los tramos de recolección.

Realización de los bioensayos de toxicidad:

Para cada una de las cuatro especies seleccionadas se realizaron dos bioensayos de corta duración (4 días), uno para la toxicidad del amoniaco y otro para la toxicidad del nitrito. La toxicidad a corto plazo del nitrato fue examinada para las dos especies de anfípodos (5 días) y para la especie de caracol (4 días), pero no pudo ser examinada para la especie de planaria. Todos los bioensayos fueron realizados por triplicado, empleando una batería de pequeños acuarios o recipientes de vidrio (ver Figura 2). Cada especie fue sometida a los diferentes bioensayos por separado, utilizando 8 o 10 individuos por concentración problema y control, y usando 5 o 6 concentraciones problema y un control por replica. Las concentraciones problema se obtuvieron añadiendo al agua base una cantidad previamente calculada de sales nitrogenadas (NH_4Cl, $NaNO_2$ y $NaNO_3$), no disolviendo lógicamente ninguna sal en los acuarios o recipientes control.

En los bioensayos con amoniaco y nitrito no se utilizaron sistemas de aireación con el fin de evitar su oxidación. Para el bioensayo con nitrato se utilizó una aireación suave mediante pequeños compresores y difusores. No obstante, la concentración de oxígeno disuelto fue suficiente en todos los casos (valor medio entre 6,6 y 7,7 mg O_2/L). También se mantuvieron en un rango adecuado los valores de pH y temperatura del agua (valores medios entre 7,8 y 8,1 y entre 16,4 y 17,9 °C), los cuales se utilizaron además para calcular la concentración de amoniaco no ionizado según la Figura 1.

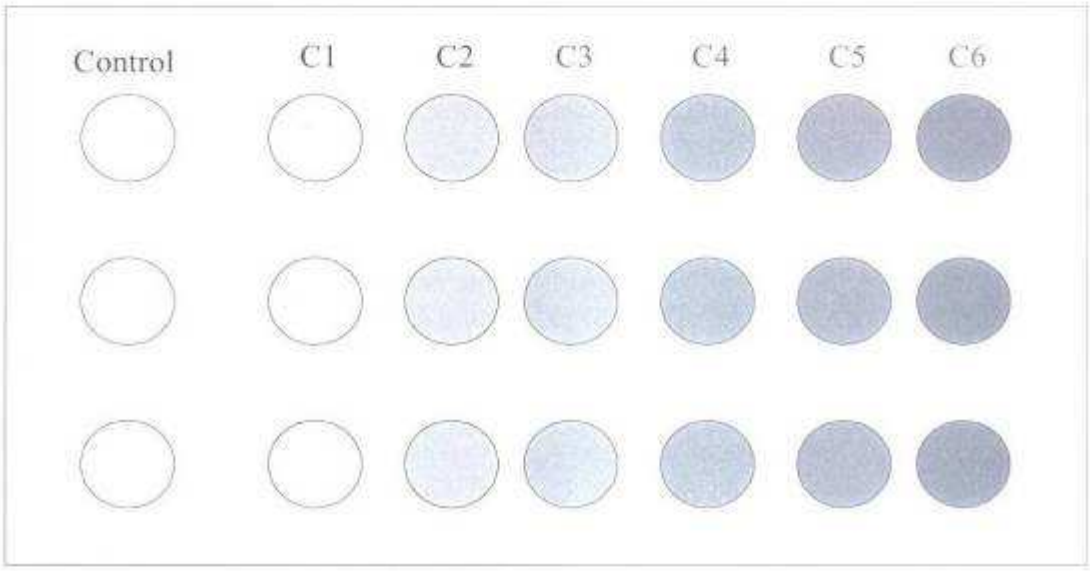

Figura 2. *Diseño experimental utilizado en los diferentes bioensayos, y un detalle de los recipientes de vidrio empleados (fotografía superior). La mayor intensidad de color representa un incremento en la concentración del compuesto nitrogenado.*

Además, la dureza del agua fue alta (valor medio entre 241 y 293 mg $CaCO_3$/L). Por otra parte, durante los bioensayos, las aguas control y problema fueron renovadas diariamente. Para reducir el efecto potencial de la evaporación sobre las concentraciones problema, los pequeños acuarios o recipientes estuvieron cubiertos con tapas de vidrio. Los macroinvertebrados no fueron alimentados durante los bioensayos, y los individuos muertos eran contados y retirados cada día.

Cálculo de las concentraciones letales y seguras:

Para valorar la toxicidad del amoniaco, el nitrito y el nitrato se calculó el parámetro de la concentración letal (CLX a Y horas): concentración de tóxico que mata a un porcentaje de la población estudiada (X) después de un tiempo de exposición (Y). Este parámetro es utilizado ampliamente en ecotoxicología, y permite comparar la sensibilidad a un tóxico o compuesto químico entre diferentes especies biológicas. Las concentraciones letales calculadas fueron la CL50 a 24, 48, 72, 96 y 120 horas, y la

CL0,01 a 96 y 120 horas, junto con sus respectivos límites de confianza al 95%. Para ello se empleó el programa informático MPA (Multifactor Probit Analysis). Esta metodología resuelve la ecuación concentración-tiempo-respuesta simultáneamente por medio de una regresión lineal múltiple. Los valores calculados de CL0,01 pueden ser utilizados como concentraciones seguras a corto plazo (96 o 120 horas) pues representan la concentración de amoniaco, nitrito o nitrato que afecta al 0,01% de los individuos de cada población empleada. La sensibilidad a un tóxico se consideró significativamente ($P<0.05$) diferente entre especies cuando los límites de confianza al 95% para un mismo tiempo de exposición no solapaban. En todos los casos las concentraciones letales se expresaron en ppm (mg/L).

Resultados

Concentraciones letales y seguras a corto plazo para el amoniaco:

En las cuatro especies el incremento de la concentración de amoniaco y el tiempo de exposición causó un aumento de la mortalidad. Por el contrario, los controles no mostraron ninguna mortalidad, indicando que las condiciones físico-químicas durante la ejecución de los bioensayos fueron adecuadas. Las CL50 calculadas se muestran en Tabla 1. Para un tiempo de exposición de 96 horas, la especie más tolerante fue el caracol *P. antipodarum*, seguida de los anfípodos *E. echinosetosus* y *E. toletanus*. La especie más sensible fue la planaria *P. felina*. Este mismo patrón fue evidente para 72, 48 y 24 horas de exposición. Se puede afirmar que de las cuatro especies estudiadas la más sensible, significativamente (ausencia de solapamiento entre límites de confianza), a la toxicidad del amoniaco según el parámetro de la CL50 es la planaria *P. felina*. Sin embargo, las concentraciones seguras a corto plazo (CL0,01 a 96 horas) mostraron un valor similar para las cuatro especies (Tabla 2), no habiendo diferencias significativas entre ellas.

Concentraciones letales y seguras a corto plazo para el nitrito:

Al igual que para el amoniaco, ningún macroinvertebrado murió en los controles. La mortalidad en los tratamientos con nitrito incrementó con la concentración y el tiempo de exposición. Las CL50 calculadas se muestran en Tabla 3. Para un tiempo de exposición de 96 horas, *P. antipodarum* volvió a ser la especie más tolerante, pero esta vez seguida de *P. felina*. Las dos especies de anfípodos mostraron unos valores de CL50 mucho más bajos y, por tanto, una mayor sensibilidad a la toxicidad de los iones nitritos que el caracol y la planaria. Este mismo patrón también fue evidente para 72, 48 y 24 horas de exposición. Además, a diferencia de lo que ocurre para el amoniaco, las concentraciones seguras a corto plazo (CL0,01 a 96 horas) indican una elevada sensibilidad de *E. echinosetosus* y *E. toletanus* en comparación con las sensibilidades mostradas por *P. antipodarum* y *P. felina* (Tabla 2).

Concentraciones letales y seguras a corto plazo para el nitrato:

Tampoco se observó mortalidad en los controles de todos los bioensayos. La mortalidad en los tratamientos con nitrato incrementó con la concentración y el tiempo

de exposición. Las CL50 calculadas se muestran en Tabla 4. Tal como se esperaba, estos valores indican claramente que tanto las dos especie de anfípodos como la especie de caracol son mucho menos sensibles a la acción tóxica del nitrato que a la acción tóxica del amoniaco y el nitrito. Además, *P. antipodarum* mostró una mayor tolerancia a la toxicidad del nitrato que *E. echinosetosus* y *E. toletanus*, hecho que no resulta sorprendente pues coincide con lo observado para la toxicidad del nitrito. Las concentraciones seguras a corto plazo (CL0,01 a 96 y 120 horas) indican una elevada sensibilidad de ambas especies de anfípodos en comparación con la sensibilidad mostrada por *P. antipodarum* (Tabla 2).

Tabla 1. *Valores (ppm NH_3-N) de la CL50 a 24, 48, 72 y 96 horas de exposición para las cuatro especies de macroinvertebrados. Entre paréntesis se muestran los límites de confianza al 95%.*

Especie	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Potamopyrgus antipodarum	2.72 (2.28-3.14)	2.23 (1.78-2.66)	2.09 (1.63-2.52)	2.02 (1.56-2.45)
Echinogammarus echinosetosus	2.51 (2.18-2.91)	1.55 (1.44-1.66)	1.32 (1.21-1.43)	1.22 (1.10-1.34)
Eulimnogammarus toletanus	1.23 (1.09-1.40)	0.80 (0.75-0.86)	0.70 (0.64-0.76)	0.65 (0.59-0.72)
Polycelis felina	0.67 (0.47-1.04)	0.47 (0.39-0.58)	0.41 (0.34-0.53)	0.39 (0.31-0.51)

Tabla 2. *Concentraciones seguras de amoniaco (ppm NH_3-N) y nitrito (NO_2-N) a corto plazo (CL0,01 a 96 horas), y las concentraciones seguras de nitrato (ppm NO_3-N) a corto plazo (CL0,01 a 120 horas para los anfípodos y CL0,01 a 96 horas para P. antipodarum). Entre paréntesis se muestran los límites de confianza al 95%.*

Especie	N-NH_3	N-NO_2	N-NO_3
Potamopyrgus antipodarum	0,16 (0,04-0,30)	33 (9,5-64,6)	195 (123-263)
Polycelis felina	0,12 (0,03-0,18)	3,45 (1,37-6,18)	-
Echinogammarus echinosetosus	0,19 (0,12-0,27)	0,11 (0,04-0,21)	2,8 (1,0-5,2)
Eulimnogammarus toletanus	0,15 (0,09-0,21)	0,04 (0,01-0,08)	4,4 (1,6-7,9)

Tabla 3. *Valores (ppm NO_2-N) de la CL50 a 24, 48, 72 y 96 horas de exposición para las cuatro especies de macroinvertebrados. Entre paréntesis se muestran los límites de confianza al 95%.*

Especie	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Potamopyrgus antipodarum	2134 (1396-3598)	848 (717-1042)	624 (522-759)	535 (433-666)
Polycelis felina	787 (507-1316)	141 (122-166)	79.8 (68.3-92.9)	60.0 (49.2-72.1)
Echinogammarus echinosetosus	7,89 (6,05-11,1)	3,76 (3,36-4,30)	2,93 (2,59-3,34)	2,59 (2,23-3,00)
Eulimnogammarus toletanus	18,5 (11,2-36,2)	4,33 (3,62-5,48)	2,67 (2,27-3,19)	2,09 (1,72-2,54)

Tabla 4. *Valores (ppm NO_3-N) de la CL50 a 24, 48, 72, 96 y 120 horas de exposición. Entre paréntesis se muestran los límites de confianza al 95%.*

Especie	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	120 horas
Potamopyrgus antipodarum	2009 (1736-2438)	1297 (1218-1407)	1121 (1052-1205)	1042 (969-1126)	-
Echinogammarus echinosetosus	-	106,9 (86,6-140,5)	74,8 (61,4-96,6)	62,5 (50,6-81,9)	56,2 (44,7-74,5)
Eulimnogammarus toletanus	-	180,3 (135,6-266,4)	109,2 (84,9-148,1)	85,0 (63,6-116,8)	73,1 (52,6-102,8)

Discusión

El presente trabajo ha mostrado que la planaria *P. felina* es bastante sensible a la toxicidad del amoniaco. Del mismo modo, el nitrito y el nitrato pueden ser altamente tóxicos para las dos especies de anfípodos estudiadas (*E. toletanus* y *E. echinosetosus*). Todo ello queda más patente cuando los valores de CL50 a 96 horas calculados se comparan con los valores disponibles para otras especies de macroinvertebrados dulceacuícolas (Tablas 5, 6 y 7).

Los datos para el amoniaco muestran el amplio margen de tolerancia de los macroinvertebrados, con rangos que van desde 0,11 hasta 15,07 ppm NH_3-N (Tabla 5). Los más sensibles son los moluscos bivalvos de la familia Unionidae (*Villosa iris*, *Lampsilis cardium* y *Lampsilis fasciola*). En cambio, el caracol *P. antipodarum* parece ser el molusco más tolerante, lo que podría facilitar su presencia y permanencia en zonas con elevada contaminación por materia biodegradable de algunos ríos europeos, incluyendo el río Henares. Para el caso de los crustáceos su margen de tolerancia es muy amplio, desde la especie más sensible, *Hyalella azteca*, hasta la más resistente,

Tabla 5. *Valores (ppm NH_3-N) de las CL50 a 96 horas de exposición para diferentes especies de macroinvertebrados de agua dulce recogidos en la bibliografía. Los nombres en negrita son las especies del presente estudio. El asterisco indica la media de varios valores de CL50. DB = Dureza baja (≤42 ppm $CaCO_3$). DM = Dureza media (100 ppm $CaCO_3$). DA = Dureza alta (270 ppm $CaCO_3$).*

Especie	Grupo	CL50
Orconectes immunis	Crustáceo	15,07
Chrironomus riparius	Insecto	6,6-9,4
Cherax quadricarinatus	Crustáceo	4,40
Asellus racovitzai	Crustáceo	4,13*
Hyalella azteca (DA)	Crustáceo	3,76*
Chironomus tentans	Insecto	3,37
Lumbriculus variegatus	Oligoqueto	2,91
Crangonyx pseudogracilis	Crustáceo	2,57*
Hydropsyche angustipennis	Insecto	2,43*
Hyalella azteca (DM)	Crustáceo	2,37*
Potamopyrgus antipodarum	Molusco	2,02
Helisoma trivolvis	Molusco	1,95*
Asellus aquaticus	Crustáceo	1,89*
Gammarus pulex	Crustáceo	1,69*
Physa gyrina	Molusco	1,61*
Limnodrilus hoffmeisteri	Oligoqueto	1,58*
Gammarus pulex	Crustáceo	1,54
Ephemerella ignita	Insecto	1,52*
Baetis rhodani	Insecto	1,40*
Physa fontinalis	Molusco	1,40*
Chironomus riparius	Insecto	1,36*
Leuctra inermis	Insecto	1,32*
Echinogammarus echinosetosus	Crustáceo	1,22
Gammarus duebeni celticus	Crustáceo	1,15
Cherax quadricarinatus	Crustáceo	0,98
Hyalella azteca (DB)	Crustáceo	0,86*
Lymnaea stagnalis	Molusco	0,82*
Eulimnogammarus toletanus	Crustáceo	0,65
Paratya curvirostris	Crustáceo	0,62
Polycelis tenuis	Planaria	0,58*
Lumbriculus variegatus	Oligoqueto	0,57
Sphaerium novaezelandiae	Molusco	0,49
Polycelis felina	Planaria	0,39
Crangonyx pseudogracilis	Crustáceo	0,36
Pycnocentria evecta	Insecto	0,33
Lumbriculus variegatus	Oligoqueto	0,29
Lampsilis fasciola	Molusco	0,26*
Hyalella azteca (DB)	Crustáceo	0,16
Lampsilis cardium	Molusco	0,15*
Villosa iris	Molusco	0,11*

Orconectes immunis. De las dos especies de crustáceos anfípodos estudiadas en el presente trabajo, *E. toletanus* es la más sensible con una CL50 a 96 horas parecida a la

del cangrejo nativo de Nueva Zelanda *Paratya curvirostris*. Solamente los anfípodos *Hyalella azteca* y *Crangonyx pseudogracilis* mostraron valores de CL50 inferiores al calculado para *E. toletanus*. Por el contrario, la información disponible sobre la toxicidad del amoniaco para las planarias es bastante escasa (solo dos especies), *Polycelis felina* siendo ligeramente más sensible que *P. tenuis*. No obstante, a pesar de los pocos datos existentes, parece ser que el grupo de las planarias tiene una sensibilidad elevada. En cambio, los oligoquetos e insectos muestran una alta tolerancia pues la mayoría de las especies presentan valores de CL50 superiores a 1 ppm NH_3-N. Solamente el tricóptero de Nueva Zelanda *Pycnocentria evecta* y el oligoqueto *Lumbriculus variegatus* muestran sensibilidades inferiores a *P. felina*.

La mayor sensibilidad mostrada por *P. felina* a la toxicidad del amoniaco con relación a las otras tres especies estudiadas (*P. antipodarum*, *E. echinosetosus* y *E. toletanus*) puede ser explicada en base al mecanismo de excreción de las planarias. Este grupo carece de un sistema de transporte de fluidos y eliminan el nitrógeno proteico en forma de ión amonio a través de la pared de su cuerpo mediante difusión simple. Una concentración elevada de amoniaco total (NH_4^++NH_3) en el medio acuático podría dificultar este proceso de eliminación, haciendo que el amoniaco no ionizado alcance niveles tóxicos en el interior del organismo. Las otras especies estudiadas en este trabajo presentan mecanismos específicos de eliminación para el ión amonio: los anfípodos por medio de glándulas excretoras situadas en las antenas y posiblemente a través de las branquias; los moluscos a través del poro excretor situado en la cavidad del manto. Estos mecanismos eliminan de forma más eficaz el amonio residual, de tal forma que el aumento de amoniaco en los fluidos internos puede ser más lento que en el caso de las planarias, permitiéndoles de esta manera soportar concentraciones más elevadas.

Los datos para el nitrito muestran que *P. antipodarum* es la especie más tolerante, seguida de *P. felina* (Tabla 6). Por el contrario, las dos especies de anfípodos estudiadas (*E. echinosetosus* y *E. toletanus*) muestran una tolerancia relativamente baja a este compuesto nitrogenado. Solo el efemeróptero *Hexagenia* sp. y el cangrejo australiano *Cherax quadricarinatus* muestran valores de CL50 a 96 horas más bajos que los calculados para *E. echinosetosus* y *E. toletanus*. No obstante, el cangrejo australiano exhibe una tolerancia bastante mayor al nitrito durante la realización de otro estudio, debido probablemente a la elevada concentración de cloruro en el agua empleada, pues una concentración alta de este anión puede reducir la acción tóxica del nitrito. La causa de este fenómeno parece ser la competencia entre Cl^- y NO_2^- durante su transporte activo a través de la membrana de las células que tienen la función principal de captar el ión cloruro, las cuales se encuentran generalmente situadas en las branquias.

En los anfípodos, el nitrito tiende a oxidar el cobre del pigmento respiratorio hemocianina, reduciendo su capacidad para transportar oxígeno a las células, lo cual puede ocasionar la muerte de estos invertebrados. La carencia en las planarias de estructuras específicas para el intercambio gaseoso y de pigmentos respiratorios podría explicar la mayor tolerancia de *P. felina* al nitrito con respecto a la baja tolerancia de *E. echinosetosus* y *E. toletanus*. Sin embargo, debido a que los moluscos también presentan el pigmento respiratorio hemocianina, en la tolerancia elevada de *P. antipodarum* a la toxicidad del nitrito estarían implicados otros factores fisiológicos.

Tabla 6. *Concentraciones letales 50 (ppm NO_2-N) a 96 horas de exposición para varias especies de macroinvertebrados de agua dulce recogidos en la bibliografía. Se muestra el valor medio de la concentración de cloruro (ppm Cl^-) empleada en cada bioensayos. Los nombres en negrita son las especies del presente estudio.*

Especie	Grupo	CL50	Cl^-
Potamopyrgus antipodarum	Molusco	535	56
Polycelis sp.	Planaria	61,6	30
Polycelis felina	Planaria	60,0	56
Cherax quadricarinatus	Crustáceo	25,9	450
Gammarus sp.	Crustáceo	12,3	30
Helisoma trivolvis	Molusco	10,9	26
Procambarus clarkii	Crustáceo	8,91	22
Gammarus fasciatus	Crustáceo	5,89	26
Echinogammarus echinosetosus	Crustáceo	2,59	56
Ephemerella sp.	Insecto	2,5	30
Eulimnogammarus toletanus	Crustáceo	2,09	56
Hexagenia sp.	Insecto	1,4	30
Cherax quadricarinatus	Crustáceo	1,03	-

De forma similar que para el nitrito, los datos para el nitrato muestran que *P. antipodarum* es la especie más tolerante, mientras que *E. echinosetosus* y *E. toletanus* son las especies de macroinvertebrados dulceacuícolas más sensibles (Tabla 7). Los tricópteros *Hydropsyche exocellata*, *Cheumatopsyche petiti* e *Hydropsyche occidentalis* muestran sensibilidades intermedias aunque más cercanas al rango de los anfípodos que al rango del molusco.

La elevada tolerancia de *P. antipodarum* a la toxicidad del nitrato, nitrito y amoniaco, podría explicar en parte el éxito colonizador que esta especie exótica está teniendo en muchos ambientes acuáticos sometidos a contaminación orgánica y por nutrientes.

Tabla 7. *Concentraciones letales 50 (ppm NO_3-N) a 96 horas de exposición para varias especies de macroinvertebrados de agua dulce recogidos en la bibliografía. Los nombres en negrita son las especies empleadas en el presente estudio. El asterisco indica la media de varios valores de CL50.*

Especie	Grupo	CL50
Potamopyrgus antipodarum	Molusco	1042
Hydropsyche exocellata	Insecto	270
Cheumatopsyche petiti	Insecto	140*
Hydropsyche occidentalis	Insecto	103*
Eulimnogammarus toletanus	Crustáceo	85,0
Echinogammarus echinosetosus	Crustáceo	62,5

Valoración del Riesgo Ecotoxicológico

La cabecera del río Henares sufre una elevada contaminación por materia orgánica y por nutrientes que genera un incremento en las concentraciones de amoniaco, nitrito y nitrato. De hecho, hemos cuantificado concentraciones de hasta 0,15 ppm NH_3-N, 0,31 ppm NO_2-N y 4,2 ppm NO_3-N en tramos de cabecera afectados por vertidos deficientemente depurados.

La elevada concentración de amoniaco no ionizado medida en cabecera se encuentra dentro de los intervalos de confianza de las concentraciones seguras a corto plazo para las cuatro especies de macroinvertebrados estudiadas (Tabla 4; 0,03–0,30 ppm NH_3-N). En consecuencia, esa concentración relativamente alta no causaría efectos letales en estas especies durante un corto periodo de exposición (96 horas), pero podría ocasionar efectos tóxicos sobre sus poblaciones si la exposición fuera más prolongada. Esto convierte al amoniaco no ionizado en un compuesto nitrogenado con cierto riesgo ecotoxicológico en el río Henares.

Similarmente, la elevada concentración de nitrato medida en cabecera se encuentra dentro de los intervalos de confianza de las concentraciones seguras a corto plazo para las dos especies de anfípodos estudiadas (Tabla 4; 1,0–7,9 ppm NO_3-N). En consecuencia, esa concentración relativamente alta no causaría efectos letales en estas especies durante un corto periodo de exposición (120 horas), pero podría ocasionar efectos tóxicos sobre sus poblaciones si la exposición fuera más prolongada. Esto convierte al nitrato en un compuesto nitrogenado que también posee cierto riesgo ecotoxicológico en el río Henares.

La elevada concentración de nitrito medida en cabecera supera los intervalos de confianza de las concentraciones seguras a corto plazo para las dos especies de anfípodos estudiadas (Tabla 4; 0,01–0,21 ppm NO_2-N). En consecuencia, esa concentración relativamente alta no solo podría ocasionar efectos tóxicos durante una exposición más prolongada (como en los casos del amoniaco y el nitrato), sino que también podría causar cierta letalidad durante un tiempo de exposición corto (96 horas). Esto confiere al nitrito un mayor riesgo ecotoxicológico para los macroinvertebrados más sensibles (los anfípodos) en el río Henares.

Diversos factores ambientales pueden, no obstante, modificar la toxicidad de los compuestos nitrogenados. Concentraciones elevadas de cloruro podrían reducir la acción tóxica del nitrito. Además, la presencia en el agua de otros contaminantes, así como las bajas concentraciones de oxígeno disuelto derivadas de la descomposición de la materia orgánica, podrían potenciar la toxicidad de estos compuestos.

Medidas de Conservación

Ante la sensibilidad mostrada por algunas especies de macroinvertebrados a la toxicidad de los compuestos nitrogenados, y debido a sus concentraciones relativamente elevadas en ciertos tramos de cabecera, se hace necesario mejorar la calidad físico-

química de las aguas del río Henares. Esta mejora puede conseguirse reduciendo la carga de materia orgánica y de nutrientes que recibe el río como consecuencia de ciertas actividades humanas. Para ello es muy recomendable una depuración adecuada y suficiente de las aguas residuales (industriales y urbanas), así como el desarrollo de prácticas agrícolas que causen el menor impacto ambiental posible (menor uso de fertilizantes, reducir la actividad agrícola en los márgenes fluviales, etc.).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un río contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Álvaro Alonso disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Castilla-La Mancha.

Bibliografía Recomendada

Alonso A. 2005. Valoración de la Degradación Ambiental y Efectos Ecotoxicológicos sobre la Comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos en la Cabecera del río Henares. Tesis Doctoral, Universidad de Alcalá, España.

Camargo J.A., Alonso A. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. Environment International 32: 831-849.

Jensen F.B. 1995. Uptake and effects of nitrite and nitrate in aquatic animals. En: Walsh P.J., Wright P., (eds.). Nitrogen Metabolism and Excretion. CRC Press, Boca Raton (Florida), pp. 289-303.

Mummert A.K., Neves R.J., Newcomb T.J., Cherry D.S. 2003. Sensitivity of juvenile freshwater mussels (*Lampsilis fasciola*, *Villosa iris*) to total and un-ionized ammonia. Environ Toxicol Chem 22: 2545-2553.

Rand G.M., Petrocelli S.R., (eds.). 1985. Fundamentals of Aquatic Toxicology. Hemisphere Publishing Corporation, Washington DC.

Richardson J. 1997. Acute ammonia toxicity for eight New Zealand indigenous freshwater species. New Zeal J Mar Freshwater Res 31: 185-190.

Rosenberg D.M., Resh V.H., (eds.). 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, London.

Rouse D.B., Kastner R.J., Reddy K.S. 1995. Toxicity of ammonia and nitrite to hatching redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. Freshwater Crayfish 10: 298-303.

IX. VERTEBRADOS ECTOTERMOS DEL MEDIO ACUÁTICO Y LA RIBERA

Julio A. Camargo[1], Álvaro Alonso[2] y Marcos de la Puente[3]

[1]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá
[2]Departamento de Medio Ambiente, INIA
[3]Liquen, Consultoría Ambiental, Madrid

Introducción

Los vertebrados ectotermos (peces, anfibios y reptiles) son animales que se caracterizan por poseer columna vertebral y usar la energía ambiental para regular su temperatura corporal, la cual varía en mayor o menor medida con la del ambiente, a diferencia de los vertebrados endotermos (aves y mamíferos) que usan la energía metabólica para autorregular y mantener más o menos constante su temperatura corporal.

Los peces son los vertebrados mejor adaptados al medio acuático, pues la gran mayoría posee respiración branquial y aletas natatorias. De las tres clases de peces que se reconocen a nivel mundial, agnatos (peces sin mandíbula), condrictios o elasmobranquios (peces cartilaginosos), y osteictios (peces óseos), son estos últimos los que con diferencia presentan una mayor diversidad (más de 50.000 especies conocidas). Los primeros peces óseos pudieron desarrollarse hace más de 400 millones de años a partir de placodermos antecesores.

Los anfibios fueron los primeros vertebrados en aparecer sobre la superficie terrestre hace más de 350 millones de años, a partir de peces óseos pulmonados con aletas lobuladas. De los dos grupos principales de anfibios que se reconocen a nivel mundial, urodelos (anfibios con cola) y anuros (anfibios sin cola), son estos últimos los que presentan una mayor diversidad (unas 5.000 especies conocidas). Además, los anuros están mejor adaptados que los urodelos para moverse sobre el medio terrestre, aunque en ambos casos muchas especies siguen dependiendo del medio acuático para su reproducción.

Los reptiles evolucionaron en el medio terrestre a partir de anfibios ancestrales, hace más de 300 millones de años, con logros evolutivos tan relevantes como una respiración pulmonar perfeccionada y el huevo amniótico. No obstante, muchos grupos de reptiles desarrollaron adaptaciones significativas al medio acuático, como los extintos ictiosaurios y plesiosaurios, y los aún presentes cocodrilos y tortugas. Incluso en los otros dos grupos de reptiles que hoy día se reconocen a nivel mundial, lagartos y serpientes (con diferencia los más diversos), podemos encontrar representantes

asociados a ecosistemas acuáticos, aunque la gran mayoría (incluyendo cocodrilos y tortugas) depende del medio terrestre para su reproducción.

Desgraciadamente muchas poblaciones de vertebrados ectotermos (y también endotermos) están disminuyendo o desapareciendo de manera irremediable debido a diversas causas antropogénicas como la contaminación y destrucción de los ecosistemas, el uso desmesurado e insostenible de los recursos, y la introducción creciente e incontrolada de especies exóticas, con la consiguiente pérdida de biodiversidad a múltiples escalas (local, regional, global). Estas mismas causas de alteración y amenaza también son evidentes en el río Henares y sus tributarios.

Peces

En la cuenca del río Henares podemos encontrar al menos trece especies de peces, de las cuales siete son autóctonas y seis son introducidas o exóticas. Estas especies pertenecen a siete familias diferentes: Salmonidae (truchas), Cyprinidae (barbos, bermejuelas, bogas, cachos, calandinos, carpas, gobios), Cobitidae (colmillejas), Esocidae (lucios), Ictaluridae (peces gato), Centrarchidae (peces sol), y Poeciliidae (gambusias). Los ciprínidos presentan individuos a lo largo de prácticamente toda la cuenca fluvial, mientras que la distribución espacial de otras familias, como los salmónidos, se encuentra más restringida (Figura 1).

Familia Salmonidae:

Salmo trutta (truchas)

Es el salmónido autóctono más abundante de la Península Ibérica y de otras regiones paleárticas. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en los tramos altos, principalmente de los ríos Sorbe, Bornova y Dulce, manteniéndose en algunos casos gracias a repoblaciones periódicas para la pesca deportiva. También es posible encontrar ejemplares en los embalses de Beleña y Alcorlo, e incluso río abajo de los mismos como consecuencia de la descarga de aguas más frías. No obstante, debido a que es bastante exigente respecto a las condiciones del medio acuático, la trucha común desaparece en zonas contaminadas y degradadas. Su alimentación se basa en artrópodos acuáticos (insectos, crustáceos), pudiendo consumir también pequeños peces y anfibios, sobre todo las truchas de mayor tamaño. La reproducción ocurre a finales de otoño o principios de invierno, cuando las hembras maduras depositan los huevos en la arena o grava del fondo para que los machos los fertilicen. Es un pez de talla media que, en nuestras latitudes, no suele superar 40cm de longitud.

Familia Cyprinidae:

Barbus bocagei (barbos)

En la Península Ibérica el género *Barbus* incluye un número relativamente elevado de endemismos (hasta siete especies endémicas han sido identificadas). En la cuenca del río Henares los barbos se distribuyen principalmente por los tramos bajos y

medios, realizando migraciones hacia los tramos altos durante la época de freza. Su alimentación se basa en invertebrados acuáticos (insectos, crustáceos, moluscos, anélidos). La reproducción tiene lugar durante la primavera, cuando las hembras maduras depositan los huevos en el fondo de arena o grava, siendo fertilizados por los machos que presentan unos tubérculos nupciales en la cabeza. Peces de talla grande, lo normal es que no superen los 70cm (Foto 1A).

Chondrostoma spp. (bermejuelas y bogas)

Es el género de peces continentales con mayor número de endemismos en la Península Ibérica (hasta ocho especies endémicas han sido identificadas). En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones de *C. arcasii* (bermejuela) y *C. polylepis* (boga). La bermejuela es más exigente en cuanto a las condiciones del medio acuático, y por este motivo se sitúa preferentemente en los tramos medios y altos, a veces formando asociación con la trucha. La boga vive sobre todo en los cursos medios y bajos, formando asociaciones con el barbo y realizando migraciones río arriba antes del desove. Ambas especies son gregarias, y su alimentación incluye no solo pequeños invertebrados sino también vegetación acuática y detritos. La reproducción ocurre durante la primavera, con las hembras maduras depositando los huevos sobre el sustrato sumergido para que los machos los fertilicen. Las bermejuelas son más pequeñas y no suelen alcanzar los 11cm, pero las bogas pueden superar 20cm de longitud (Foto 1B).

Squalius spp. (cachos y calandinos)

Este género incluye un número apreciable de endemismos en la Península Ibérica (hasta cuatro especies endémicas han sido identificadas). En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones de *S. pyrenaicus* (cacho) y *S. alburnoides* (calandino). Ambas especies son gregarias y bastante ubiquistas, situándose tanto en tramos altos como en cursos medios y bajos. Aunque poco exigentes respecto a las condiciones del medio acuático, tienden a desaparecer en zonas contaminadas y degradadas. Su alimentación consiste principalmente en pequeños insectos y crustáceos. La reproducción tiene lugar a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos sobre el fondo del río para que los machos los fertilicen. Curiosamente, los calandinos son en su mayoría hembras triploides que producen óvulos de los cuales se elimina el genoma paterno, siendo posteriormente fertilizados por espermatozoides de los cachos. Este raro mecanismo reproductivo se denomina hibridogénesis. Los calandinos no suelen superar 10cm de longitud, pero los cachos alcanzan con frecuencia los 15cm (Fotos 1C y 1D).

Cyprinus carpio (carpas)

Es una especie originaria de Eurasia que fue introducida en muchas regiones de Europa durante la época de los romanos. En la Península Ibérica parece que fue introducida durante la dinastía de los Habsburgo (siglos XVI y XVII). En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en el curso bajo del propio río, pues prefiere aguas de poca corriente y temperatura relativamente elevada, siendo además bastante resistente a la contaminación. También podemos encontrar carpas en los tramos medios e incluso altos con aguas embalsadas (embalse de Alcorlo, por ejemplo). Su

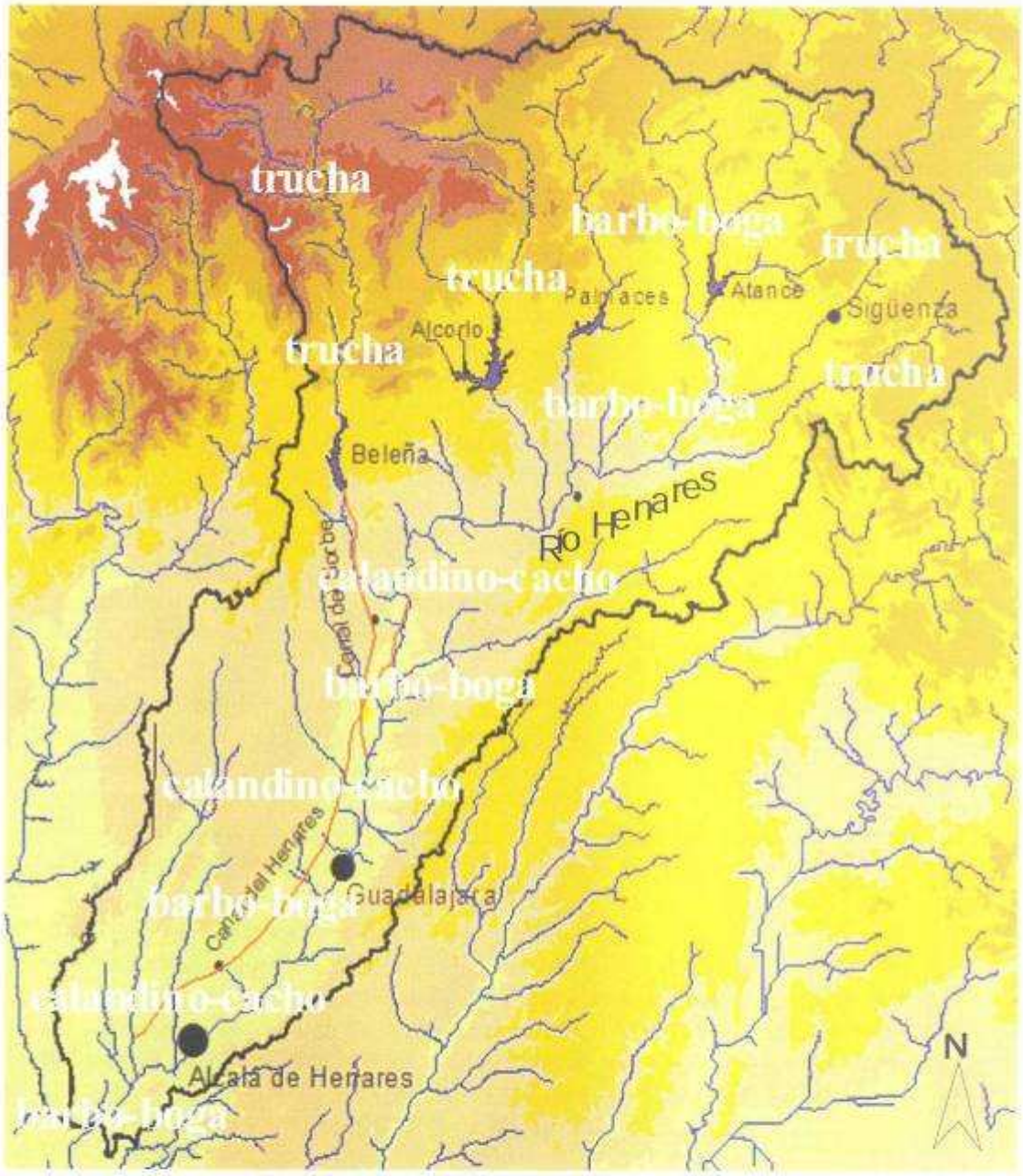

Figura 1. *Distribución general de los peces autóctonos más comunes en la cuenca del río Henares. Los ciprínidos presentan individuos a lo largo de prácticamente toda la cuenca fluvial, mientras que los salmónidos (truchas) se distribuyen principalmente por las zonas de cabecera.*

Foto 1. *Ciprínidos autóctonos que podemos encontrar en la cuenca del río Henares: A) barbo; B) boga; C) cacho; D) calandino. (Fotos Pilar Vizcaíno Martínez, Gonzalo Alonso de Santocildes y Diego García de Jalón).*

alimentación se basa en invertebrados acuáticos, pero también consumen algas filamentosas, plantas acuáticas, alevines de peces, y detritos. A este respecto hay que señalar que las carpas adultas pueden causar un efecto negativo sobre la vegetación acuática, así como remover el sedimento del fondo y enturbiar la columna de agua, alterando indirectamente el hábitat natural de otros animales acuáticos. La reproducción ocurre a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos sobre la vegetación sumergida para que los machos los fertilicen. Es un pez grande y robusto que, bajo ciertas condiciones, puede alcanzar el metro de longitud aunque lo normal es que no supere los 60cm.

Gobio gobio (gobios)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica (cuencas de los ríos Ebro y Bidasoa) y que se distribuye por la mayor parte del continente europeo. Su existencia en los cursos fluviales del norte y centro peninsular parece que ha sido posibilitada por la acción humana. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en los tramos medios y altos, pues es relativamente exigente respecto a las condiciones del medio acuático, necesitando un sustrato limpio y libre de sedimentos para reproducirse. Los gobios son peces claramente de fondo que se alimentan sobre todo de pequeños invertebrados bentónicos (crustáceos, insectos, moluscos, anélidos). La reproducción tiene lugar a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos en el fondo arenoso para que los machos los fertilicen. Son peces de pequeño tamaño que no suelen superar 15cm de longitud.

Familia Cobitidae:

Cobitis paludica (colmillejas)

Es una especie endémica de la Península Ibérica. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en los tramos medios e incluso altos, pero con poca corriente, siendo relativamente exigente en cuanto a las condiciones del medio ya que vive asociada a sustratos de arena o grava y con vegetación acuática. Las colmillejas son peces claramente de fondo, con un cuerpo alargado y sin vejiga natatoria, que suelen esconderse parcial o totalmente dentro del sustrato. Se alimentan principalmente de pequeños invertebrados bentónicos, aunque también comen algas y detritos. La reproducción ocurre a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos en la arena o grava del fondo para que los machos los fertilicen. Son peces de talla pequeña que no suelen alcanzar 15cm de longitud.

Familia Esocidae:

Esox lucius (lucios)

Esta especie tiene una distribución circumpolar, ocupando de forma natural amplias áreas de América del Norte y Eurasia. En la Península Ibérica fue introducida con fines deportivos en 1949, encontrándose hoy día dispersa por toda la geografía peninsular. En la cuenca del río Henares podemos encontrar lucios en los tramos bajos, medios e incluso altos, con escasa corriente y vegetación acuática. Son grandes

depredadores con una dieta relativamente mixta: se alimentan de invertebrados durante las primeras fases de su vida, pasando gradualmente a consumir peces a medida que crecen. También pueden consumir anfibios, reptiles, polluelos y micro-mamíferos, sobre todo los lucios de mayor tamaño. La reproducción tiene lugar a finales de invierno o principios de primavera, cuando las hembras maduras depositan los huevos sobre la vegetación sumergida para que los machos los fertilicen. Es un pez grande y fuerte que puede superar los 75cm (Foto 2A).

Familia Ictaluridae:

Ameiurus melas (peces gato)

Esta especie es nativa del centro y este de Norteamérica. En la Península Ibérica fue introducida a principios del siglo XX, distribuyéndose hoy día por las cuencas de los ríos Ebro, Llobregat, Jucar y Tajo. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en el curso bajo del propio río, pues prefiere aguas lentas y de fondo limoso. Además es bastante resistente a la contaminación y tolera temperaturas relativamente elevadas. Su alimentación es variada, consumiendo invertebrados, peces, algas, macrófitos y detritos. La reproducción ocurre a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos en pequeñas depresiones del fondo, siendo entonces fertilizados por los machos que aparentemente se encargan de defender la puesta. Es un pez de talla media que, en nuestras latitudes, raramente supera 40cm de longitud (Foto 2B).

Familia Centrarchidae:

Lepomis gibbosus (peces sol)

Es una especie nativa de la región noreste de Norteamérica. En la Península Ibérica se cree que fue introducida a principios del siglo XX, encontrándose en la actualidad dispersa por gran parte de la geografía peninsular. Este proceso expansivo parece que ha sido intensificado por la acción humana. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en los tramos bajos, medios e incluso altos, con poca corriente y vegetación acuática. Son voraces depredadores que se alimentan de invertebrados, huevos y alevines de peces. La reproducción tiene lugar a finales de primavera o principios de verano, cuando las hembras maduras depositan los huevos en hoyos excavados en el fondo arenoso, siendo entonces fertilizados por los machos. Es un pez que no suele superar los 25cm (Foto 2C).

Familia Poeciliidae:

Gambusia holbrooki (gambusias)

Es una especie nativa del centro y sur de Norteamérica. En la Península Ibérica fue introducida en 1921 para combatir el paludismo, encontrándose hoy día dispersa por gran parte de la geografía peninsular. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en el curso bajo del propio río, así como en alguno de sus tributarios (el

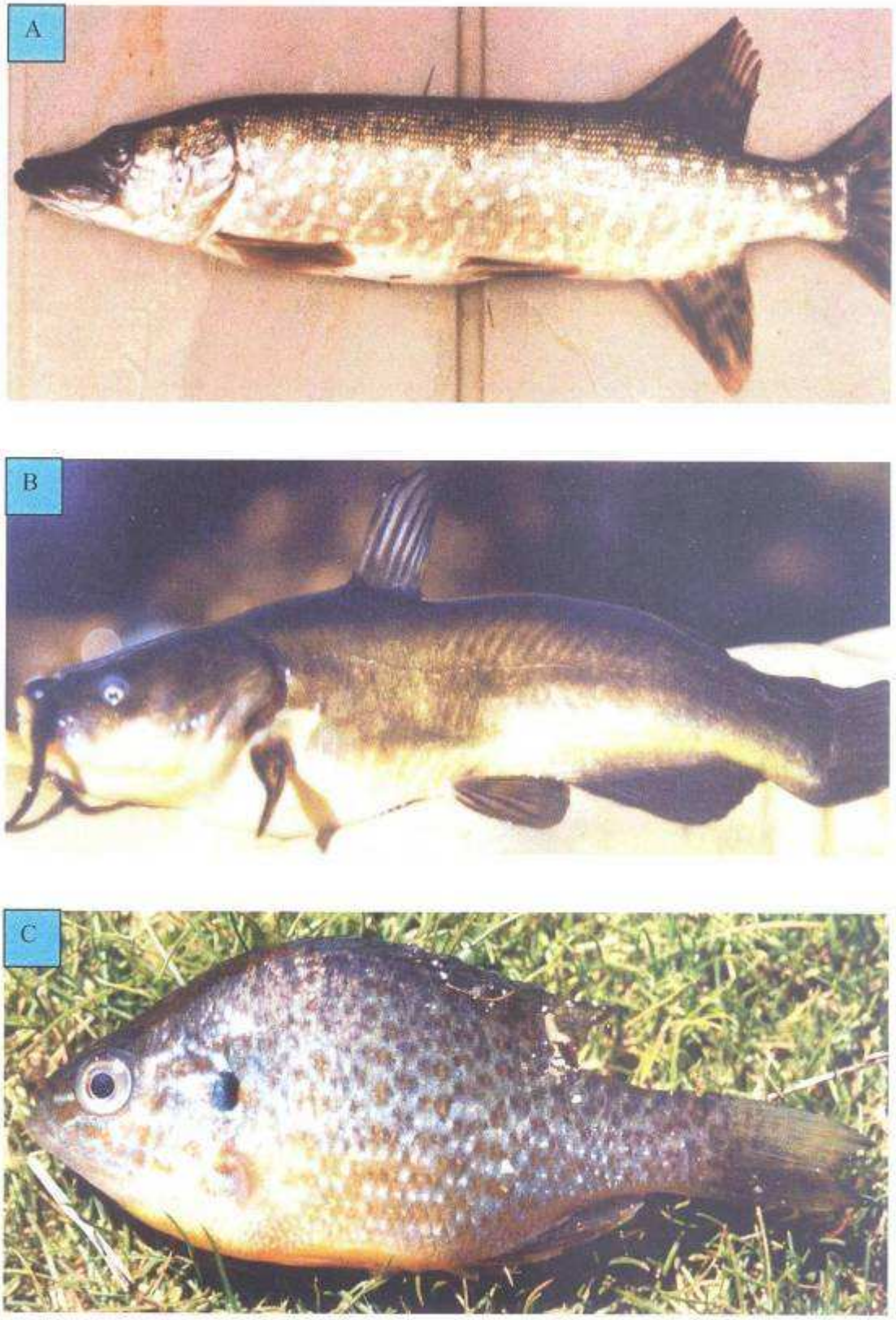

Foto 2. *Peces exóticos que podemos encontrar en la cuenca del río Henares: A) lucio; B) pez gato; C) pez sol. (Fotos Diego García de Jalón y Carlos Alonso González).*

arroyo Torote). Prefieren aguas lentas, de escasa profundidad, y con vegetación abundante. Además son bastante resistentes a la contaminación y toleran temperaturas relativamente elevadas. Las gambusias se alimentan preferentemente de pequeños invertebrados acuáticos, aunque también pueden depredar sobre puestas y alevines de peces (incluyendo los propios). La reproducción ocurre durante la primavera y el verano, cuando los machos copulan con las hembras usando su gonopodio (aleta anal modificada). Pueden producir 2-4 generaciones de alevines (ovovivíparos) a lo largo del periodo reproductivo. Son peces de talla bastante pequeña: mientras que las hembras pueden alcanzar 5-6cm de longitud, los machos no suelen sobrepasar los 3cm.

Anfibios

En la cuenca del río Henares podemos encontrar al menos nueve especies de anfibios, todas ellas autóctonas. Se integran en seis familias diferentes: Salamandridae (gallipatos), Bufonidae (sapos comunes, sapos corredores), Discoglossidae (sapos parteros, sapillos pintojos), Pelobatidae (sapos de espuelas), Pelodytidae (sapillos moteados), y Ranidae (ranas comunes). Algunas familias, como los bufónidos y ránidos, presentan individuos por gran parte de la cuenca fluvial, mientras que la distribución espacial de otras familias, como los salamándridos, pelobátidos y pelodítidos, se encuentra mucho más restringida (Figura 2).

Para vivir y reproducirse, los anfibios prefieren manantiales, charcas, lagunas, zonas someras de embalses, y zonas remansadas de ríos y arroyos. También suelen usar ambientes acuáticos antropogénicos como albercas de riego, balsas para abrevar ganado, acequias, fuentes, estanques, pilones, e incluso piscinas. Las formas larvarias, como los renacuajos, son siempre acuáticas y a menudo fitófagas, pero las formas adultas son depredadoras y, en algunos casos, primordialmente terrestres. El periodo reproductivo es variable y depende en gran medida de la disponibilidad de puntos de agua (temporal o permanente), pudiendo comenzar con las lluvias de otoño y prolongarse durante el invierno y la primavera. En el caso de los anuros (sapos y ranas), los machos realizan con sus sacos vocales fuertes llamadas para atraer a las hembras y así poder llevar a cabo el típico apareamiento sin cópula (el *amplexus*). El tamaño de las hembras suele ser mayor que el de los machos.

Familia Salamandridae:

Pleurodeles walti (gallipatos)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica. También se distribuye por el noroeste de Marruecos. En la cuenca del río Henares sus poblaciones parecen ser poco numerosas, concentrándose sobre todo en áreas asociadas a tramos bajos pues prefiere zonas de aguas remansadas y estables. No obstante, los gallipatos pueden llegar a ser relativamente abundantes en ciertos humedales de la cuenca como la Laguna Grande de Beleña (Foto 8, Capítulo I). Tanto la fase larvaria (acuática) como la fase adulta (más acuática que terrestre) son carnívoras, alimentándose principalmente de pequeños invertebrados como insectos y crustáceos. Son urodelos de pequeño tamaño que no suelen sobrepasar los 20cm.

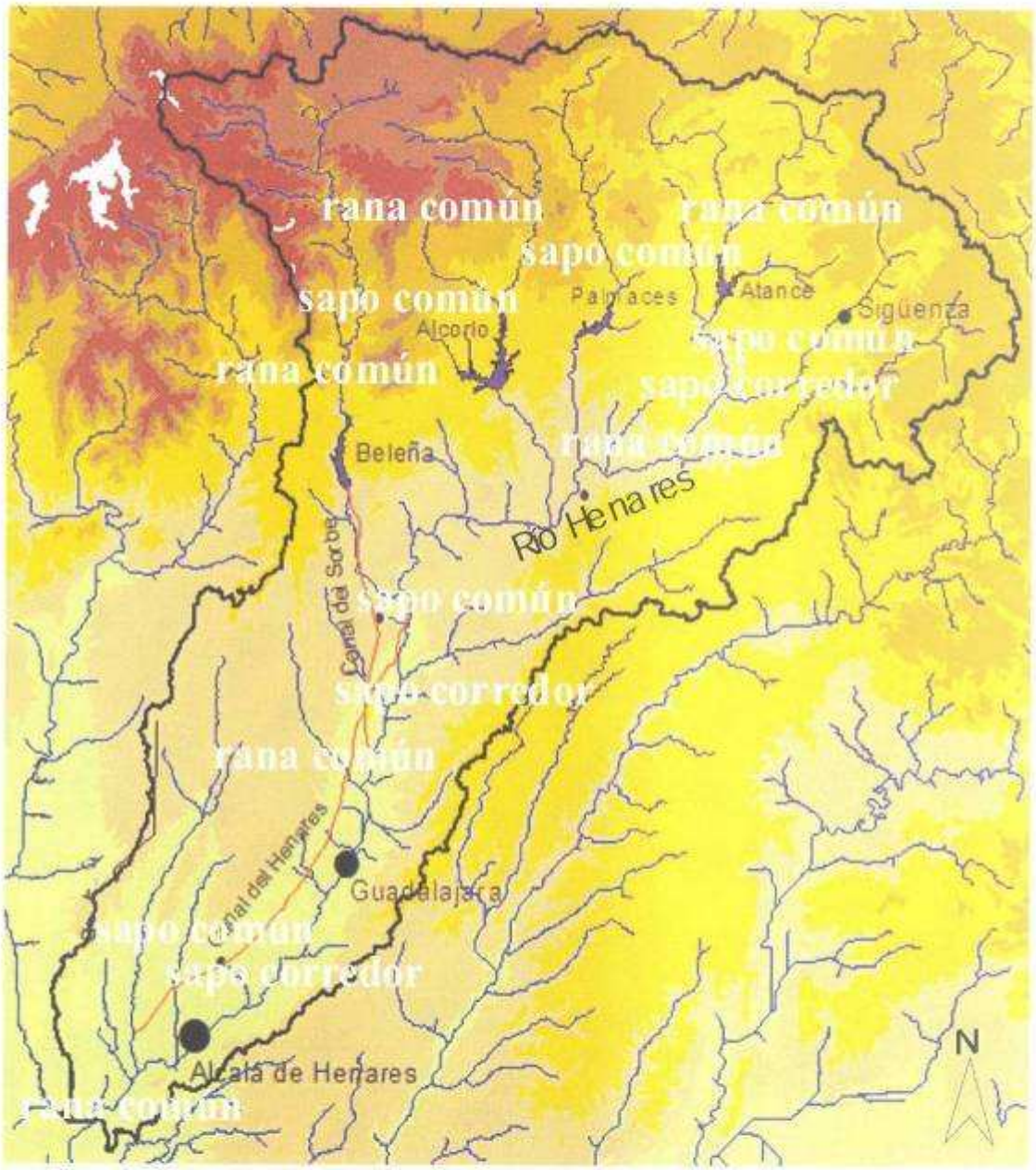

Figura 2. *Distribución general de los anfibios más comunes en la cuenca del río Henares. Las poblaciones de rana común son numerosas, encontrándose distribuidas por gran parte de la cuenca fluvial. Las poblaciones de los sapos común y corredor, aunque menos numerosas, también se distribuyen por tramos altos, medios y bajos.*

Familia Bufonidae:

Bufo spp. (sapos comunes y sapos corredores)

Este género de anfibios anuros tiene una amplia distribución por todo el continente europeo, siendo las especies *B. bufo* (sapos comunes o escuerzos) y *B. calamita* (sapos corredores) las más ubicuas. Por ello no sorprende que en la cuenca del río Henares podamos encontrar poblaciones de estas dos especies en áreas asociadas a tramos altos, medios y bajos. La fase adulta en ambas especies es básicamente terrestre y de hábitos nocturnos, estando ligada al medio acuático solo en época de reproducción. Las hembras de los escuerzos producen hileras de huevos que suelen depositar en zonas de relativa profundidad y carácter permanente. Por el contrario, las hembras de los sapos corredores forman hileras de huevos que depositan en zonas someras y de carácter temporal, con el consiguiente riesgo para el desarrollo completo de los renacuajos. Además, las hembras de *B. bufo* pueden sobrepasar 15cm de longitud, mientras que las hembras de *B. calamita* no suelen alcanzar los 8cm.

Familia Discoglossidae:

Alytes spp. (sapos parteros)

Este género incluye las especies *A. cisternasii* (sapo partero ibérico) y *A. obstetricans* (sapo partero común). Mientras que la primera es un endemismo de la Península Ibérica, la segunda tiene una distribución más amplia, estando presente en Portugal, España, Francia, Bélgica, Holanda, Alemania, Luxemburgo, Suiza, y el norte de Marruecos. En la cuenca del río Henares, *A. cisternasii* puede ser encontrada puntualmente en áreas asociadas al curso bajo del propio río. *A. obstetricans* parece ser más abundante y dispersa, con pequeñas poblaciones en áreas asociadas a tramos bajos, medios e incluso altos. Los sapos parteros se caracterizan porque, después del apareamiento, son los machos los que transportan los huevos hasta que eclosionan, transfiriendo entonces los renacuajos al medio acuático para que se desarrollen y conviertan en adultos. Estos anfibios son pequeños y no suelen sobrepasar los 5cm.

Discoglossus jeanneae (sapillos pintojos)

Es un endemismo de España peninsular. En la cuenca del río Henares sus poblaciones parecen ser poco abundantes y estar bastante dispersas, pudiendo encontrarse puntualmente en áreas asociadas a tramos bajos, medios y altos. A diferencia de otras especies de sapos, los sapillos pintojos adultos son de hábitos muy acuáticos, por lo que requieren puntos de agua permanentes o de larga duración. Las hembras no suelen sobrepasar 7cm de longitud.

Familia Pelobatidae:

Pelobates cultripes (sapos de espuelas)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica. También se distribuye por las costas mediterránea y occidental de Francia. En la cuenca del río Henares no parece ser

muy abundante, con poblaciones en áreas asociadas a tramos bajos y medios. Los adultos poseen una proyección dérmica (la pala) en cada una de las patas posteriores. Prefieren suelos arenosos y blandos, cercanos a puntos de agua, donde excavan galerías casi verticales y pasan la mayor parte de su existencia. Es en la época de reproducción cuando se concentran cerca del agua para aparearse. Las hembras no suelen alcanzar 8cm de longitud.

Familia Pelodytidae:

Pelodytes punctatus (sapillos moteados)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica. También se distribuye por gran parte de Francia y el noroeste de Italia. En la cuenca del río Henares parece ser poco abundante, con poblaciones en áreas asociadas a tramos medios y altos. Los adultos son primordialmente terrestres y de hábitos nocturnos, que gustan de trepar por la vegetación arbustiva, estando ligados al medio acuático solo en época de reproducción. Las hembras no suelen sobrepasar 5cm de longitud.

Familia Ranidae:

Rana perezi (ranas comunes)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica, siendo el anfibio más abundante y ubicuo. También se distribuye por el sur de Francia. En la cuenca del río Henares sus poblaciones son numerosas y están bastante dispersas, encontrándose por gran parte de la cuenca fluvial, preferentemente en zonas de aguas remansadas (o estancadas) y con vegetación acuática. Los adultos están ligados al medio acuático durante todo el año, siendo buenos depredadores de hábitos diurnos y nocturnos. Las hembras pueden alcanzar 10cm de longitud.

Reptiles

Aunque en el conjunto de la cuenca del río Henares podemos identificar más de una docena de especies de reptiles, solo tres se consideran realmente asociadas al medio acuático (Figura 3). Estas tres especies, autóctonas y esencialmente carnívoras, se integran en dos familias diferentes: Bataguridae (galápagos leprosos) y Colubridae (culebras viperinas, culebras de collar).

Familia Bataguridae:

Mauremys leprosa (galápagos leprosos)

Es una especie autóctona de la Península Ibérica. También se distribuye por el sur de Francia y el noroeste de África. En la cuenca del río Henares podemos encontrar poblaciones en áreas asociadas al curso bajo del propio río, así como en alguno de sus tributarios (el arroyo Torote). Prefiere zonas de aguas remansadas y con abundante vegetación. Aunque tolera cierto grado de contaminación, tiende a desaparecer cuando

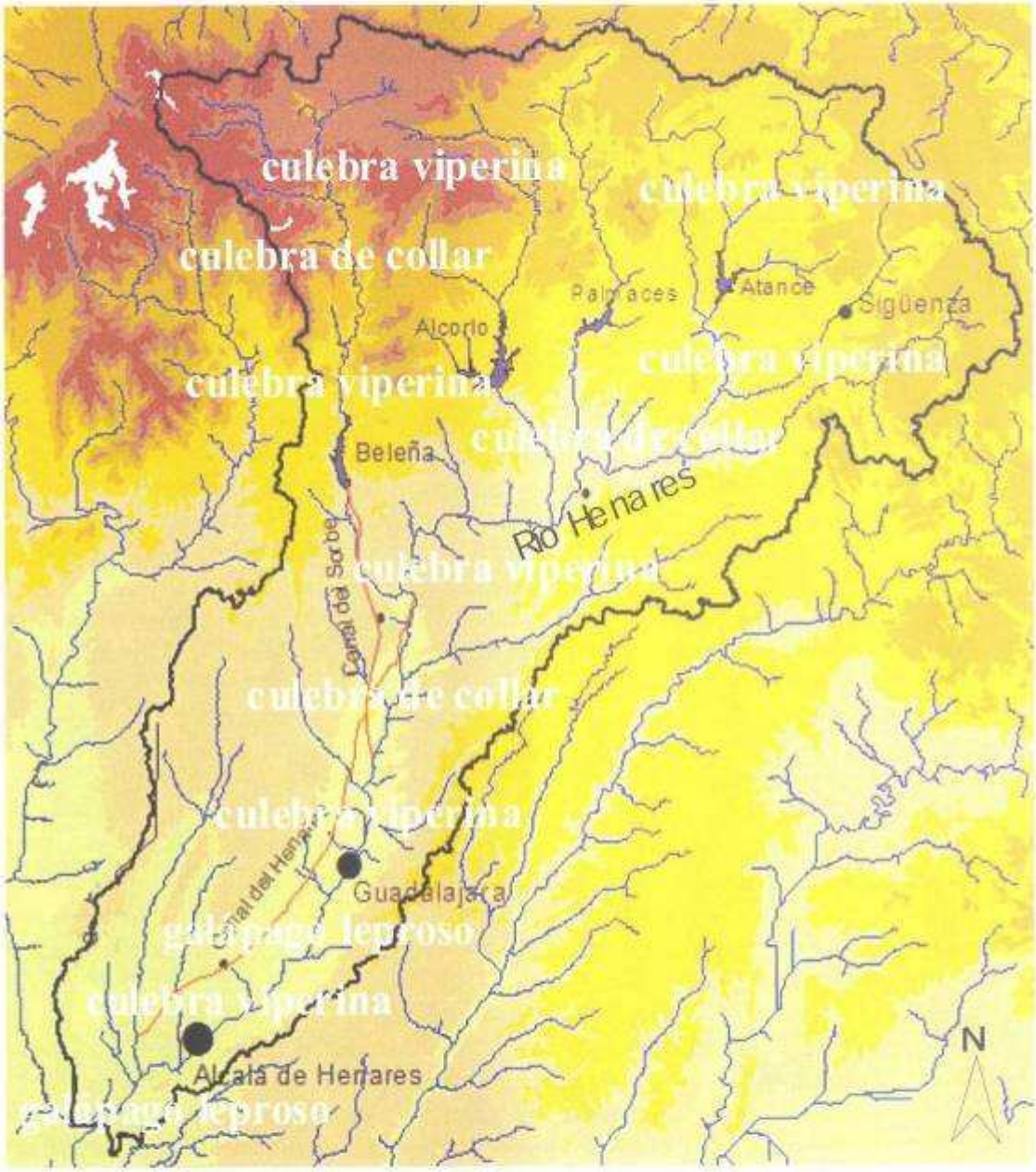

Figura 3. *Distribución general de los reptiles acuáticos más comunes en la cuenca del río Henares. Las poblaciones de galápago leproso se concentran preferentemente en los tramos bajos, mientras que las poblaciones de las culebras viperina y de collar están más dispersas.*

los niveles son excesivos. Gusta de tomar el sol cerca del agua pero, ante el menor indicio de peligro, se sumerge rápidamente, siendo buen nadador y buceador. Su alimentación se basa en la captura de invertebrados, peces y anfibios, aunque también puede incluir materia vegetal, sobre todo en los individuos mayores. La cópula ocurre durante la primavera, tanto en tierra como en el agua, después de la cual la hembra realiza una puesta de unos 6-10 huevos que entierra cerca de la orilla. Estos huevos tardarán en eclosionar alrededor de un mes. Los galápagos leprosos tienen un tamaño relativamente pequeño que no suele superar 25cm de longitud.

Familia Colubridae:

Natrix maura (culebras viperinas)

Es una especie que se distribuye por toda la Península Ibérica. También por gran parte de Francia y el norte de África. En la cuenca del río Henares parece ser bastante abundante, con poblaciones en los tramos bajos, medios y altos. La culebra viperina recibe este nombre debido a su relativo parecido con las víboras, el cual se acentúa cuando viéndose en peligro hincha las carótidas adquiriendo su cabeza la típica forma triangular. No obstante, además de no ser venenosa, se diferencia de las víboras por su pupila redondeada y las grandes escamas de la cabeza. Tiene hábitos muy acuáticos, por lo que requiere zonas de agua permanentes o de larga duración. Posee además una buena capacidad de colonización de ambientes acuáticos antropogénicos. Se alimenta de invertebrados, anfibios y peces. La reproducción tiene lugar durante la primavera y el verano, con puestas de un número variable de huevos, los cuales tardan en eclosionar entre 30 y 60 días. Las culebras viperinas raramente superan 70cm de longitud.

Natrix natrix (culebras de collar)

Esta especie tiene una extensa distribución euroasiática. En la cuenca del río Henares parece ser menos abundante que la culebra viperina, aunque sus poblaciones también pueden encontrarse en áreas asociadas a tramos bajos, medios y altos. Sin embargo, debido a que es de hábitos menos acuáticos que *N. maura*, su distribución está menos condicionada por la existencia de puntos de agua. La culebra de collar recibe este nombre por la coloración blanco amarillenta bordeada de negro que los individuos jóvenes presentan en del cuello. Su alimento principal son los anfibios, aunque también captura peces y micro-mamíferos. La reproducción tiene lugar a finales de primavera o principios de verano, con puestas de un número variable de huevos, los cuales tardan en eclosionar alrededor de 50 días. Las culebras de collar son de talla media que en algunas ocasiones pueden alcanzar 200cm de longitud.

Factores de Alteración y Medidas de Conservación

Es evidente que las comunidades de vertebrados ectotermos del río Henares y sus tributarios se encuentran amenazadas como consecuencia de una serie de factores antropogénicos, entre los cuales hay que destacar los siguientes:

La contaminación por actividades agrícolas, ganaderas, industriales o urbanas produce una disminución de la calidad de las aguas, generando procesos tóxicos y adversos en los animales acuáticos, especialmente en los más sensibles como truchas, ciertos ciprínidos, y algunos anfibios. Los casos más evidentes de contaminación y degradación ambiental corresponden al río Henares, aguas abajo de Sigüenza, y al arroyo Camarmilla.

Diversas infraestructuras hidráulicas, como canalizaciones y presas, junto con la extracción de áridos (para la construcción) y agua (para la agricultura), alteran el hábitat natural e impiden el éxito reproductivo de muchos peces y anfibios autóctonos.

La pesca deportiva en exceso reduce de manera significativa las poblaciones naturales de truchas, lo que obliga a llevar a cabo repoblaciones periódicas con especimenes criados en piscifactorías y que en muchos casos no suelen adaptarse a las nuevas condiciones del río receptor.

La existencia de especies exóticas invasoras como el lucio, el pez gato y el pez sol, que son relativamente abundantes en la cuenca del río Henares, constituye un serio peligro para las especies autóctonas, sobre todo para los pequeños ciprínidos, colmillejas y renacuajos.

Los atropellos en carreteras de sapos y culebras durante sus desplazamientos, así como su muerte directa a manos de personas ignorantes e irresponsables, causan un impacto significativo en la densidad de sus poblaciones, sobre todo cuando éstas son localmente escasas.

Para corregir y disminuir los efectos negativos que los factores de alteración causan sobre las comunidades de peces, anfibios y reptiles, se proponen las siguientes medidas de conservación:

Proteger estrictamente todos los tramos altos, en especial las cabeceras de los ríos Sorbe, Bornova y Dulce, por ser hábitat natural de la trucha común, y lugar de reproducción de otras especies autóctonas.

Depurar apropiadamente cualquier vertido agrícola, ganadero, industrial o urbano. Para atenuar los efectos de la contaminación difusa ocasionada por la escorrentía en explotaciones agrícolas, reducir el uso de fertilizantes, pesticidas y otros productos fitosanitarios.

Minimizar los efectos de las obras hidráulicas, recuperando en lo posible la geomorfología fluvial y los caudales naturales.

Reducir la extracción de áridos y de agua, incluyendo la sobreexplotación de acuíferos, con el objetivo de preservar el hábitat natural y los sitios de reproducción de muchos peces y anfibios autóctonos, especialmente durante los periodos de sequía.

Disminuir la intensidad de la pesca deportiva que afecta sobre todo a las poblaciones de trucha común, favoreciendo además la pesca sin muerte.

Control efectivo y exhaustivo de las especies exóticas invasoras como el lucio, el pez gato, el pez sol, la carpa y la gambusia, pues actúan como competidores y depredadores de las especies autóctonas.

Construcción de zonas de paso para anfibios y reptiles en las carreteras donde se producen atropellos de estos vertebrados. Prohibición de matar o capturar cualquier especie autóctona de anfibio y reptil.

Recuperar y proteger el bosque de ribera pues incrementa la heterogeneidad del hábitat, proporciona materia orgánica, y reduce la insolación sobre la columna de agua así como la entrada de sedimento mineral fino.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado principalmente gracias al proyecto "análisis integrado de los ecosistemas representativos de la cuenca del río Henares: bases para una planificación con criterios ambientales" de la Universidad de Alcalá, y al proyecto "estudio de los efectos producidos por la contaminación de nutrientes sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un río contaminado" (REN2001-1008/HID) del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Álvaro Alonso disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Castilla-La Mancha, y Marcos de la Puente disfrutó de una beca predoctoral concedida por la Comunidad de Madrid. Desde aquí queremos dar las gracias a la universidad, al ministerio, y a las diferentes comunidades por todo el apoyo prestado.

Bibliografía Recomendada

Allan J.D. 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Chapman & Hall, London.

Brookes A., Shields Jr. F.D, (eds.). 1996. River Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects. John Wiley & Sons, Chichester.

Capula M. 1989. Guide to Reptiles and Amphibians of the World. Simon & Schuster, New York.

Doadrio I., (ed.). 2002. Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España. segunda edición. Dirección General de Conservación de la Naturaleza – Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, España.

Flosi G., Downie S., Hopelain J., Bird M., Coey R., Collins B. 1998. California Salmonid Stream Habitat Restoration Manual (3rd edition). California Department of Fish and Game, Inland Fisheries Division, California.

Hauer F.R., Lamberti G.A. (eds.) 1996. Methods in Stream Ecology. Academic Press, San Diego.

Hunter C.J. 1991. Better Trout Habitat: A Guide to Stream Restoration and Management. Montana Land Reliance and Island Press, Washington, DC.

Margalef R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona.

National Research Council. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems. National Academic Press, Washington, DC.

Nelson J.S. 1994. Fishes of the World, 3rd edition. John Wiley & Sons, New York.

Pleguezuelos J.M., Márquez R., Lizana M., (eds.). 2002. Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza - Asociación Herpetológica Española, Madrid, España.

Schreck C.B., Moyle P.B., (eds.). 1990. Methods for Fish Biology. American Fisheries Society, Bethesda (Maryland).

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. Limnological Analyses, 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel R.G. 2001. Limnology: Lake and Rivers Ecosystems, 3rd edition. Academic Press, San Diego.

X. LA AVIFAUNA DE LA VEGA

Salvador Rebollo[1], Juan Prieto[2] y Luisa M. Díaz[3]

[1]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá
[2]C/ Juan de Borgoña 6, Alcalá de Henares (Madrid)
[3]Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad de Alcalá

Introducción. Las Aves como Indicadores Ecológicos

Las aves actuales (*Neornithes*) son vertebrados endotermos que se caracterizan porque tienen pico sin dientes, cuerpo cubierto de plumas, y muchas adaptaciones anatómicas y funcionales relacionadas con el vuelo, por ejemplo, estructura ligera de los huesos, módulo locomotor pectoral, elongación de las extremidades anteriores, innovaciones en el sistema pulmonar y sacos aéreos, tamaño relativamente pequeño, etc. Multitud de grupos de animales han sido propuestos como posibles antecesores de las aves. Sin embargo, la hipótesis más aceptada en la actualidad es que proceden de dinosaurios *Dromaeosauridos* bípedos no alados. A partir de ellos (hace unos 140 millones de años), y con el *Archaeopterix* como ave jurásica voladora más primitiva conocida por el momento, se iniciaría la todavía enigmática andadura hasta las aves actuales. Un proceso evolutivo que se interpreta como una paulatina adquisición de novedades anatómicas para refinar las habilidades para el vuelo. Las aves no voladoras actuales (ninguna de ellas presente en la avifauna silvestre ibérica) procederían de ancestros voladores. El proceso evolutivo de las aves también dio lugar a una gran diversificación de especies (actualmente hay descritas más de 9000 especies en el mundo, lo que ha permitido a las aves colonizar multitud de ambientes terrestres y acuáticos. Esta gran diversificación es la base del capítulo que presentamos.

Estos vertebrados endotermos llaman la atención por sus colores, cantos, vuelos y comportamientos de exhibición. Numerosas personas disfrutan de su observación y del espectáculo de sus concentraciones en dormideros comunales, áreas de descanso, desplazamientos migratorios, etc. Pero las aves, además de servir para observar y admirar la naturaleza, nos pueden ayudar a comprender su funcionamiento y estado de conservación. Pueden ser utilizadas como buenos "indicadores ecológicos" para poder detectar patrones y procesos ecológicos así como impactos ambientales producidos por las actividades humanas. Para ello, debemos fijarnos en los elementos que rodean a las aves, el lugar donde decidieron posarse, alimentarse, etc. La identificación de estos elementos esenciales del hábitat permite comprender las necesidades básicas de las aves y encauzar mejor las medidas de conservación. En este sentido cabe preguntarse por qué las aves pueden ser buenos indicadores ecológicos.

Las aves son excelentes indicadores porque tienen una elevada sensibilidad a los cambios en su medio. La composición de la comunidad de aves (especies presentes y

abundancia relativa de cada especie) cambia rápidamente como consecuencia de variaciones en la fisionomía de la vegetación (heterogeneidad espacial horizontal y vertical debida principalmente a cambios en las proporciones entre el estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo), abundancia de recursos tróficos, disponibilidad de lugares para nidificar, molestias humanas, etc.

Cinco características de las aves potencian su papel bioindicador. En primer lugar, la elevada variedad de especies. En España se ven habitualmente unas 350 especies, número que puede elevarse a más de 400 si consideramos las observadas de manera más esporádica. Por ejemplo, podemos observar más especies de aves en la vega del río Henares que si sumamos el resto de las especies de vertebrados (peces de agua continental, anfibios, reptiles y mamíferos, incluidos los murciélagos).

En segundo lugar, la gran diversidad de nichos que ocupan. Existen aves adaptadas a vivir prácticamente en todos los ambientes ibéricos y muchas de ellas son especialistas. Esta especialización las hace más sensibles a cambios del hábitat, de tal manera que variaciones de la abundancia de estas especies nos permiten detectar cambios sutiles en el medio.

En tercer lugar, el elevado conocimiento que tenemos de la ecología de las especies. A diferencia de otros grupos taxonómicos, conocemos bien la biología de las aves y sus preferencias y tenemos buenas estimaciones de la abundancia de cada especie en nuestro país, lo que permite inferir más información a partir de su presencia o de su ausencia.

En cuarto lugar, por su elevada detectabilidad. Muchas especies se "empeñan" en ser vistas (exhibiendo contrastados colores) y oídas (emitiendo constantemente cantos o reclamos). Además, la mayoría de las especies son diurnas, frente, por ejemplo, a los mamíferos que suelen ser nocturnos. Esto es extensible no sólo a cuando comen o se reproducen, sino también a cuando se desplazan. Las aves se desplazan de manera visible, su silueta se dibuja y recorta en el cielo. Otras especies que vuelan, como los murciélagos, lo hacen de noche y otras especies que se desplazan por el suelo, como los mamíferos, se desplazan escondiéndose entre la vegetación.

Finalmente, las aves pueden ser buenos indicadores ecológicos porque permanecen activas todo el año. Por el contrario, los anfibios y reptiles (ectotermos e insectívoros) permanecen inactivos y ocultos durante las épocas frías del año y muchas plantas son poco visibles en las épocas frías o en las más cálidas y secas y sólo pueden detectarse en forma de semilla.

¿Pero qué indican las aves?

Las aves son indicadoras de las características del nicho ecológico que ocupan. Su mayor utilidad es informar o permitir suponer con fundamento las características del ecosistema que son menos accesibles a nuestra observación (procesos subyacentes). Por ejemplo, propiedades del suelo (contenido de materia orgánica, abundancia de fauna edáfica, etc.), características del lecho fluvial (pedregosidad, oxigenación, abundancia

de macro-invertebrados acuáticos, etc.), idoneidad de la vegetación (suministro de lugares para nidificar, producción de insectos, etc.).

La información que suministran las aves está relacionada, en primer lugar, con la presencia o ausencia de determinados recursos tróficos accesibles. Nos informan de su tipología, variedad, abundancia, localización y continuidad en el tiempo. En segundo lugar, con la existencia de condiciones adecuadas para nidificar (tranquilidad, ausencia de depredadores, proximidad a fuentes de alimento, etc.). Los requerimientos para nidificar son diferentes para cada especie y las aves nos informan de la existencia de condiciones adecuadas en el suelo, vegetación, edificios o roquedos. En estos últimos es importante la presencia de grietas, repisas, salientes, agujeros, extra-plomos, etc. En tercer lugar, informan de la presencia de refugios diurnos y nocturnos. Presencia de lugares seguros y tranquilos donde ocultarse o mantenerse alejados de molestias humanas y depredadores. Muchas especies de aves toleran mal la presencia humana cercana y continuada.

Por todo ello, las aves son indicadores ecológicos fáciles de detectar que aportan signos o indicios que facilitan el desciframiento del paisaje. Esos signos derivan de la presencia de las aves y su abundancia, pero también de sus trasiegos de un lugar a otro. Debemos fijarnos hacia donde dirigen sus vuelos, los lugares que conectan con sus desplazamientos y por qué son necesarios esos desplazamientos en los que las aves se exponen a depredadores y cazadores. Hacen desplazamientos diarios de varios kilómetros entre fuentes de alimento y entre lugares estratégicos utilizados para el descanso, refugio o contacto social.

En este capítulo mostraremos a las aves como indicadoras del estado de conservación de la vega del río Henares. En esta vega se podría organizar una "red de indicadores ecológicos" basada en el estudio de los cambios en la composición de la comunidad de aves en determinados puntos de control. Esta red nos permitiría conocer mejor los cambios del valor natural y calidad ambiental de la vega del río Henares en los próximos años y décadas y comprobar si las medidas de conservación que es necesario adoptar con urgencia frenan el descenso actual de muchas especies o poblaciones. Esta "red de indicadores ecológicos" debería hacerse conjuntamente con otras riberas para identificar los cambios que se están produciendo a escala local (por ejemplo, molestias humanas puntuales) de aquellos que se están produciendo a una escala más global y que son consecuencia de fenómenos que están actuando a escalas más grandes (por ejemplo, cambios climáticos). Además de las aves, esta red debería contar con otros muchos indicadores bióticos como plantas, hongos, líquenes, algas, invertebrados, mamíferos, etc.), y abióticos (sensores de contaminantes, etc.).

Principales Ambientes de la Vega

La vega del río Henares juega un papel esencial en la conservación de la avifauna de la cuenca del Henares porque suministra ambientes claves para la reproducción, invernada y migración de las aves. La Universidad de Alcalá ha realizado un estudio integrado de todo el río Henares (desde su nacimiento en Horna hasta su desembocadura en el río Jarama) para determinar el estado de conservación del río. Se

de macro-invertebrados acuáticos, etc.), idoneidad de la vegetación (suministro de lugares para nidificar, producción de insectos, etc.).

La información que suministran las aves está relacionada, en primer lugar, con la presencia o ausencia de determinados recursos tróficos accesibles. Nos informan de su tipología, variedad, abundancia, localización y continuidad en el tiempo. En segundo lugar, con la existencia de condiciones adecuadas para nidificar (tranquilidad, ausencia de depredadores, proximidad a fuentes de alimento, etc.). Los requerimientos para nidificar son diferentes para cada especie y las aves nos informan de la existencia de condiciones adecuadas en el suelo, vegetación, edificios o roquedos. En estos últimos es importante la presencia de grietas, repisas, salientes, agujeros, extra-plomos, etc. En tercer lugar, informan de la presencia de refugios diurnos y nocturnos. Presencia de lugares seguros y tranquilos donde ocultarse o mantenerse alejados de molestias humanas y depredadores. Muchas especies de aves toleran mal la presencia humana cercana y continuada.

Por todo ello, las aves son indicadores ecológicos fáciles de detectar que aportan signos o indicios que facilitan el desciframiento del paisaje. Esos signos derivan de la presencia de las aves y su abundancia, pero también de sus trasiegos de un lugar a otro. Debemos fijarnos hacia donde dirigen sus vuelos, los lugares que conectan con sus desplazamientos y por qué son necesarios esos desplazamientos en los que las aves se exponen a depredadores y cazadores. Hacen desplazamientos diarios de varios kilómetros entre fuentes de alimento y entre lugares estratégicos utilizados para el descanso, refugio o contacto social.

En este capítulo mostraremos a las aves como indicadoras del estado de conservación de la vega del río Henares. En esta vega se podría organizar una "red de indicadores ecológicos" basada en el estudio de los cambios en la composición de la comunidad de aves en determinados puntos de control. Esta red nos permitiría conocer mejor los cambios del valor natural y calidad ambiental de la vega del río Henares en los próximos años y décadas y comprobar si las medidas de conservación que es necesario adoptar con urgencia frenan el descenso actual de muchas especies o poblaciones. Esta "red de indicadores ecológicos" debería hacerse conjuntamente con otras riberas para identificar los cambios que se están produciendo a escala local (por ejemplo, molestias humanas puntuales) de aquellos que se están produciendo a una escala más global y que son consecuencia de fenómenos que están actuando a escalas más grandes (por ejemplo, cambios climáticos). Además de las aves, esta red debería contar con otros muchos indicadores bióticos como plantas, hongos, líquenes, algas, invertebrados, mamíferos, etc.), y abióticos (sensores de contaminantes, etc.).

Principales Ambientes de la Vega

La vega del río Henares juega un papel esencial en la conservación de la avifauna de la cuenca del Henares porque suministra ambientes claves para la reproducción, invernada y migración de las aves. La Universidad de Alcalá ha realizado un estudio integrado de todo el río Henares (desde su nacimiento en Horna hasta su desembocadura en el río Jarama) para determinar el estado de conservación del río. Se

analizó la vegetación de ribera, usos del suelo, niveles de contaminación del agua, así como la comunidad de aves nidificante o invernante en el río y la vega. Se detectaron un total de 155 especies de aves entre nidificantes e invernantes (ver Anexo). Si tenemos en cuenta que hay unas 180 especies de aves en la cuenca del río Henares, el 80,5% de esas aves pueden observarse en los diferentes hábitats de la vega.

La vega es un sistema ecotónico, complejo. Una fusión de los hábitats acuáticos y terrestres que ofrece una elevada heterogeneidad de ambientes en un pequeño espacio como consecuencia de la presencia del río y la transformación humana. Además, la vega presenta una fisionomía dinámica debido a las continuas variaciones que experimenta el caudal del río, el cauce y los usos humanos. El resultado es un mosaico de bosquetes, formaciones de matorral, cortados fluviales, humedales, campos de cultivo, pastizales y asentamientos humanos, que en conjunto acoge a una rica comunidad de aves. Nosotros describiremos la avifauna de la vega diferenciando cinco ambientes principales: forestal, acuático, agrícola-ganadero, urbano, y rúpicola.

La avifauna de cada uno de esos cinco ambientes y de la vega en su conjunto no es fácil de concretar porque no existe un límite preciso entre los distintos ambientes ni entre el ambiente de vega y los ecosistemas de laderas y terrazas circundantes. Predominan los cambios graduales. Además, las aves necesitan elementos que están en ambientes diferentes, habiendo un trasiego continuo de avifauna entre unos ecosistemas y otros. Los límites entre los diferentes ambientes son más imprecisos en los tramos altos del río, donde la vega se estrecha.

Ambiente forestal:

Está constituido mayoritariamente por pequeños y estrechos bosquetes con un deficiente estado de conservación de la vegetación. Estos bosquetes aparecen dispersos, desconectados, unidos, en el mejor de los casos, por una estrecha hilera de chopos a lo largo de la orilla. En la vega del río Henares no existen masas forestales con una elevada extensión. A pesar de esta limitada extensión, estrechez, y deficiente estado de conservación, sorprende la elevada diversidad y abundancia de aves existente en estos bosques "galeria". Esta rica y variada avifauna se debe, probablemente, a la elevada productividad y heterogeneidad horizontal y vertical (con presencia de árboles grandes y varios estratos de vegetación) y también por tratarse de medios forestales "isla", situados en medio de amplias extensiones agrícolas desforestadas. Actúan como importantes zonas de refugio, principalmente en los tramos bajos del río Henares donde la deforestación del medio circundante ha sido mayor.

Cuando se utilizan las aves como indicadoras de conservación de los bosques de ribera, el valor natural de estos medios forestales resulta, posiblemente, sobrevalorado debido a este efecto sumidero sobre la avifauna. Así, la avifauna forestal informa más de la heterogeneidad que aporta el bosque a escala de paisaje que del estado de conservación real de bosque.

Las aves forestales representan el grupo de aves más numeroso de los que habitan la vega, con unas 75 especies (Figuras 1 y 2 y Anexo). En los bosques riparios estrechos y estructuralmente simples predominan especies oportunistas que desarrollan

su actividad entre el arbolado y los espacios abiertos de los alrededores. Es el caso de algunos córvidos como la urraca, fringílidos como el verderón común, verdecillo, jilguero y otras especies como el estornino negro, gorrión molinero, etc. Por el contrario, los bosques riparios más anchos y complejos presentan especies más especialistas. Destacan en estos últimos las rapaces forestales medianas o pequeñas (busardo ratonero, azor, milano negro, gavilán, alcotán, águila calzada), tórtola europea, chotacabras pardo, gorrión moruno y pájaro moscón, entre otros.

La riqueza de especies de estos bosquetes riparios durante el periodo reproductor es directamente proporcional a la complejidad horizontal y vertical de la vegetación. La riqueza de especies es mayor cuando el sotobosque (estrato arbustivo) es abundante, presentando el bosque varios estratos de vegetación leñosa y árboles altos. La riqueza es muy pobre en las choperas cultivadas, constituidas por formaciones arbóreas muy homogéneas (con árboles de similar edad y características) y sin apenas estrato arbustivo, hasta tal punto que algunas choperas cultivadas son verdaderos desiertos ornitológicos.

A diferencia de otros bosques de la cuenca del Henares, los bosques riparios experimentan intensos cambios fisionómicos a lo largo del año debido a su carácter marcadamente caducifolio. El periodo sin hojas es largo, desde comienzos del otoño hasta bien entrada la primavera. Esta ausencia de hojas durante el periodo invernal repercute profundamente en la comunidad ornítica, principalmente, como veremos a continuación, porque cambian los recursos tróficos y el grado de protección que requieren las aves. La disponibilidad de ciertos recursos tróficos disminuye, especialmente la fauna invertebrada asociada a las hojas. Numerosas aves buscadoras de alimento en el follaje se desplazan a otros medios próximos con vegetación de hoja perenne (como los páridos -carbonero común, herrerillo común, mito, etc.-) o migran a latitudes situadas más al sur (como los mosquiteros -mosquitero común y papialbo-, currucas -curruca capirotada y mirlona-, oropéndolas, etc.).

Por otro lado, la pérdida de hojas disminuye la cobertura que daba el bosque. Las aves se hacen más visibles, vulnerables, faltando la privacidad necesaria para muchas de sus actividades. Para algunas rapaces forestales disminuye la posibilidad de cazar al acecho o desde una atalaya, una técnica de caza característica del gavilán o el azor. Esta falta de privacidad hace que, en ausencia de un estrato arbustivo que sirva de protección, muchas especies típicamente forestales prefieran buscar alimento también en laderas próximas cubiertas con árboles perennes o marcescentes.

La ausencia de hojas facilita también la entrada en la ribera durante el invierno de aves características de medios más abiertos, como el alcaudón real, totovía o diversos tipos de fringílidos, que buscan alimento principalmente en el suelo o en el estrato herbáceo o arbustivo. La falta de protección aportada por las hojas también aumenta la incidencia de condiciones meteorológicas más extremas sobre las aves. Hay un mayor contraste de temperatura entre el día y la noche, favorecido por los fenómenos de inversión térmica típicos de los fondos de valle durante el invierno. La acción directa de la lluvia y del viento sobre las aves también aumenta.

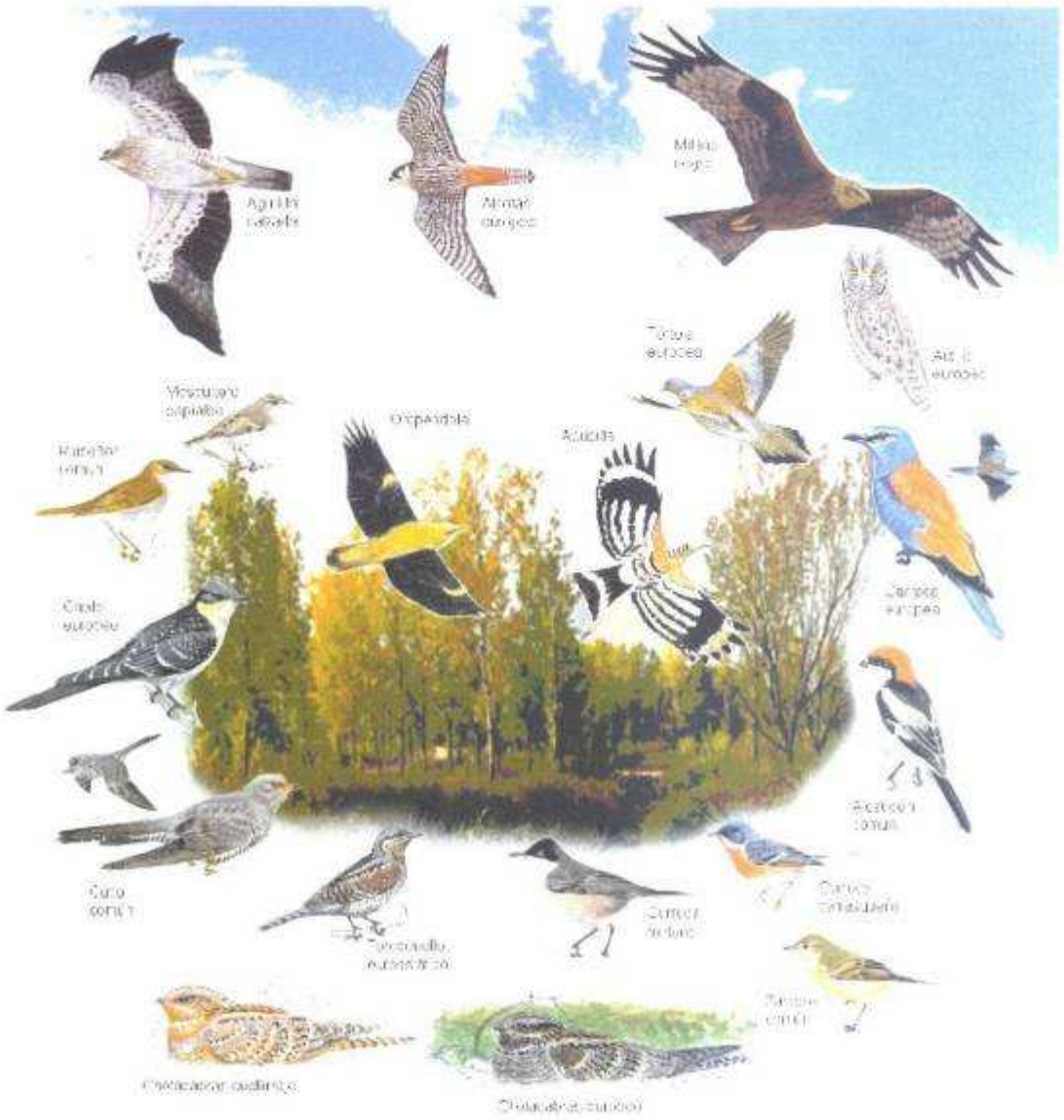

Figura 1. *Aves estivales que se reproducen en los ambientes forestales de la vega. Son aves forestales que aparecen también en bosques situados lejos de los ambientes de vega. Acuden a estos ambientes a finales del invierno y principios de primavera y algunas de ellas inician se viaje de retorno a los cuarteles de invernada (normalmente situados en el África sub-sahariana) a partir de finales de julio. Principalmente son aves rapaces diurnas y nocturnas y aves insectívoras especializadas cada una de ellas en presas muy diferentes (con la notable excepción de la tórtola europea). Aunque hay bastantes especies que sitúan sus nidos sobre la vegetación, hay también especies que se reproducen en agujeros de árboles, edificios y escarpes (autillo, abubilla, carraca, etc.), que nidifican directamente en el suelo (las dos especies de chotacabras, ruiseñor común) o parasitan nidos de especies hospedadoras que también se encargarán de criar a los polluelos (cuco, crialo). Los polluelos de estas últimas especies migrarán hacia el sur cuando hayan completado su desarrollo, aunque se hayan criado con padres adoptivos que tengan comportamientos sedentarios.*

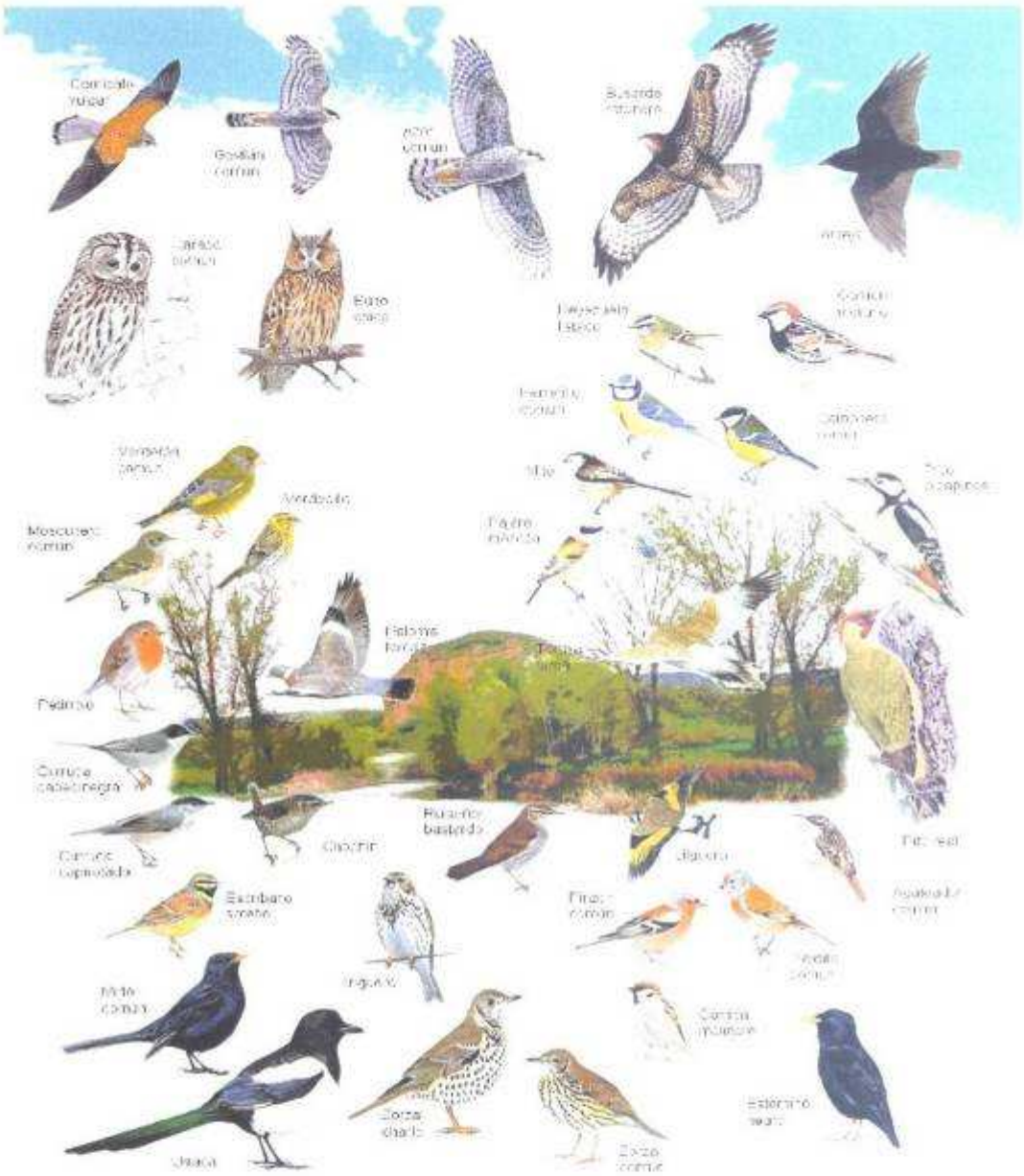

Figura 2. *Aves sedentarias (también denominadas residentes) que se reproducen en los ambientes forestales de la vega. Como ocurre con las aves forestales estivales, son aves frecuentes también en bosques situados lejos de los ambientes de vega. Las poblaciones reproductoras en la vega del Henares permanecen todo el año en esos ambientes. Sin embargo, poblaciones reproductoras de latitudes más norteñas, con inviernos más fríos y largos, son migradoras y utilizan frecuentemente la península ibérica y la propia vega del río Henares como zona de invernada. Las aves reproductoras sedentarias es un grupo más numeroso y diversificado que el de las aves reproductoras estivales (ver Figura 2). Hay especies representativas de todos los grupos tróficos y utilizan los más variados substratos para nidificar. De entre ellas, los pájaros carpinteros son esenciales para construir agujeros en los árboles donde después nidificarán otras especies sedentarias y estivales como el carbonero común, herrerillo común, etc.*

Ese empeoramiento general de las condiciones microclimáticas disminuye el uso de estos medios por las aves pequeñas tanto para la búsqueda de alimento como para el descanso diurno y nocturno. Así, los dormideros invernales de estorninos negros y pintos o de lavanderas blancas se sitúan muchas veces fuera del ambiente de ribera, sobre árboles perennifolios, frecuentemente pinos. Sin embargo, ciertas aves de tamaño más grande, como los córvidos (urraca, grajilla, etc.) o ciertas aves acuáticas (cormorán grande, garcillas bueyeras, etc.) pueden utilizar los árboles desnudos de la ribera como dormideros comunales durante el invierno.

Ambiente acuático:

La fauna de la vega y en particular de los ambientes acuáticos es dinámica. El Cuadro 1 muestra cambios recientes en las especies presentes. Actualmente en el rio pueden observarse unas 42 especies de aves acuáticas (Figura 3 y Anexo). Los cambios en la composición de la avifauna acuática es la que mejor describe el estado de conservación del río Henares porque dependen más directamente de las características físico-químicas y biológicas del agua y del cauce fluvial.

Cuadro 1. *Nuevas especies de aves acuáticas en el río Henares.*

En los últimos años han colonizado el río Henares varias especies de aves acuáticas que se encuentran en proceso de expansión a nivel nacional debido a la disminución de la persecución por parte del hombre y a la protección de sus colonias de cría.

- Somormujo lavanco: ha colonizado los embalses, las charcas de Usanos y las lagunas de Puebla de Beleña.
- Zampullín cuellinegro: cría en las lagunas de Puebla de Beleña y en las charcas de Usanos.
- Garza imperial: cría en las graveras de Miralcampo y en el meandro abandonado de Aldovea.
- Garza real: crió en 1980 en una colonia de Cigüeña blanca en Miedes de Atienza. Cría posible en el meandro abandonado de Aldovea.
- Garcilla bueyera: presenta una colonia de cría con 50-70 parejas en 2002 en el Minizoo de Guadalajara, donde también existe un dormidero utilizado todo el año. Otros dormideros se encuentran en el meandro abandonado de Aldovea y en la isla de las Armas (Alcalá de Henares).
- Martinete: presenta una colonia de 7-12 parejas en 2002 en el Minizoo de Guadalajara y hubo otra colonia en los años 2000-2002 en el meandro abandonado de Aldovea (15-20 parejas).
- Porrón común: cría en las lagunas de Puebla de Beleña, en las graveras de Miralcampo y en Aldovea.
- Aguilucho lagunero: cría en el carrizal del rio Torote (14 parejas), en la laguna de El Encin, en la gravera de Miralcampo y en el carrizal del río Badiel en Utande (3 parejas).
- Calamón: cría en el meandro abandonado de Aldovea y en la gravera de Miralcampo.
- Cigüeñuela: ha criado en las graveras de Cabanillas y en las lagunas de Puebla de Beleña. En la Depuradora de lagunaje de Azuqueca hubo una colonia de 20 parejas en 1989-93.

Además tenemos sospechas, aún no confirmadas, de que la Cigüeña negra pueda estar ya criando en la zona. La gaviota sombría y el cormorán grande son especies nuevas como invernantes y éste último podría llegar a criar en un futuro próximo como ya lo hace en otros puntos de la Península Ibérica.

Las especies representativas de cursos altos de río (mirlo acuático y, en menor medida, lavandera cascadeña) son muy escasas. Sólo la lavandera blanca (la especie más generalista del grupo de las lavanderas) aparece de manera frecuente en los tramos altos. Esto es debido, en parte, al característico nacimiento del río Henares a una altitud relativamente baja y en un valle formado por hundimiento tectónico y no como

consecuencia de erosión fluvial. Por ello, el río transcurre en su cabecera a través de un valle ancho, de escasa pendiente, sobre un cauce poco pedregoso y cruzando ambientes con una intensa actividad agrícola y ganadera.

Cuando el río se encaja posteriormente en las calizas y conglomerados cretácicos existentes desde Sigüenza hasta Baides, presentando una fisionomía de curso fluvial característica de montaña, la densidad de lavanderas y de mirlo acuático aumenta, aunque siempre manteniendo unos valores bajos. En estos tramos altos, los vertidos de la ciudad de Sigüenza y su entorno contaminan mucho el río, cuyo caudal es bajo por encontrarse todavía cerca de su nacimiento y por las frecuentes extracciones de agua para riego y otros usos. La contaminación elevada y el caudal escaso limitan drásticamente la presencia de invertebrados acuáticos que sirven de alimento a los mirlos acuáticos y las lavanderas.

El siguiente tramo del río (curso medio), a pesar del mayor caudal del río, es bastante pobre en especies de aves acuáticas. Aparecen especies capaces de vivir en carrizales poco extensos, limitados a una banda estrecha en las orillas del cauce, como es el caso de los carriceros tordal y común, ruiseñor bastardo, ánade real y gallineta común. Podemos destacar la presencia de alguna colonia de avión zapador (ave rupícola muy ligada a los ambientes acuáticos) situada principalmente en taludes de graveras, lo que impide la presencia de colonias estables.

La comunidad de aves acuáticas más compleja se sitúa en el tramo final del río, próximo a la desembocadura del Henares en el río Jarama. En este tramo aparecen lugares con mayor profundidad de agua, especialmente como consecuencia de los azudes dispuestos en el cauce y que favorecen la aparición de aves acuáticas buceadoras como la focha común, el zampullín chico, y el porrón europeo. Las dos primeras especies aparecen a partir de la ciudad de Guadalajara, y el porrón europeo a partir de Azuqueca, en las depuradoras de lagunaje de dicha ciudad y las graveras de Miralcampo, Mejorada del Campo y Caserío del Henares.

En ese tramo final del río también aparecen meandros abandonados y mayores extensiones de carrizal y espadañal lo que favorece la aparición de aves con mayor interés de conservación, como es el caso de ardeidas (garza imperial, garceta común, avetorillo y martinete), calamón y aguilucho lagunero. La garza imperial nidifica en la gravera de Miralcampo y en el meandro abandonado del Caserío del Henares. El martinete nidifica en Mejorada y en el minizoo de Guadalajara. El avetorillo es abundante a lo largo de todo el tramo bajo del río y el calamón es un colonizador reciente procedente del río Jarama y que cría actualmente en el tramo bajo del río Henares y en las graveras de Miralcampo y Mejorada. En estos tramos finales, también es más abundante el martín pescador.

Es importante destacar la baja densidad de aves acuáticas limícolas. Tanto las que frecuentan áreas pedregosas (chorlitejo chico y andarríos chico), como las características de fondos arenosos o limosos de lagunas temporales y de llanuras de inundación (cigüeñuela común). Esto refleja que los márgenes del río son estrechos, con cauce encajado, sin que los ambientes acuáticos se extiendan hacia la llanura de inundación.

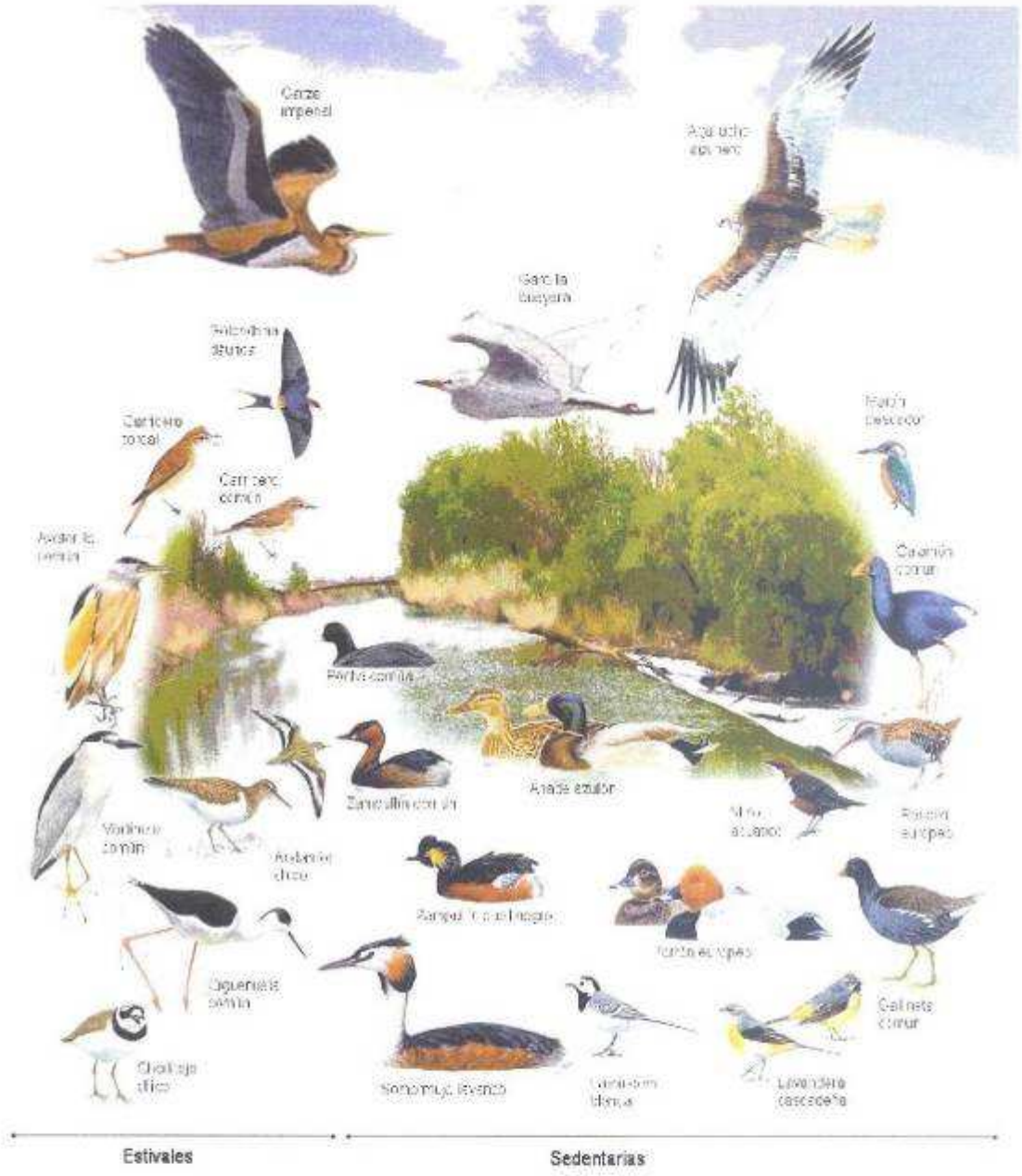

Figura 3. *Aves acuáticas estivales (izquierda) o sedentarias (derecha). Hemos incluido en este grupo a todas las especies que durante el periodo de nidificación aparecen asociadas a los ambientes acuáticos (ríos, embalses, lagunas, etc). Es un grupo complejo donde destacan las anátidas (patos y fochas), ardeidas (garzas, martinetes y avetorillos), limícolas (andarríos, chorlitejos, cigüeñuelas, etc.), así como somormujos, zampullines y martines pescadores. Hay también algunos paseriformes especializados en este tipo de medios como lavanderas y carriceros. Puede apreciarse que, en nuestras latitudes, son escasas las aves rapaces especializadas en los medios acuáticos. Dentro de las aves acuáticas dominan las aves carnívoras (muchas de ellas ictiófagas) e insectívoras. Llama la atención las pocas especies vegetarianas, entre las que destaca el calamón que se alimenta sobre todo de brotes de eneas.*

Figura 4. *Aves que se reproducen frecuentemente en los ambientes agrícolo-ganaderos que bordean a la ribera. Las aves estivales se sitúan hacia la izquierda y las sedentarias hacia la derecha de la figura. Son ambientes abiertos con amplias superficies dominadas por vegetación herbácea o arbustiva propia de los cultivos y pastizales. Son ambientes mixtos que tienen una importante relación con los retazos de vegetación forestal de la ribera. Por ello, algunas especies también se reproducen en éstos últimos ambientes forestales (por ejemplo, jilguero y escribano soteño). Son características de estos medios abiertos cultivados las dos únicas gallináceas de la vega, la codorniz y la perdiz roja, dos importantes aves cinegéticas.*

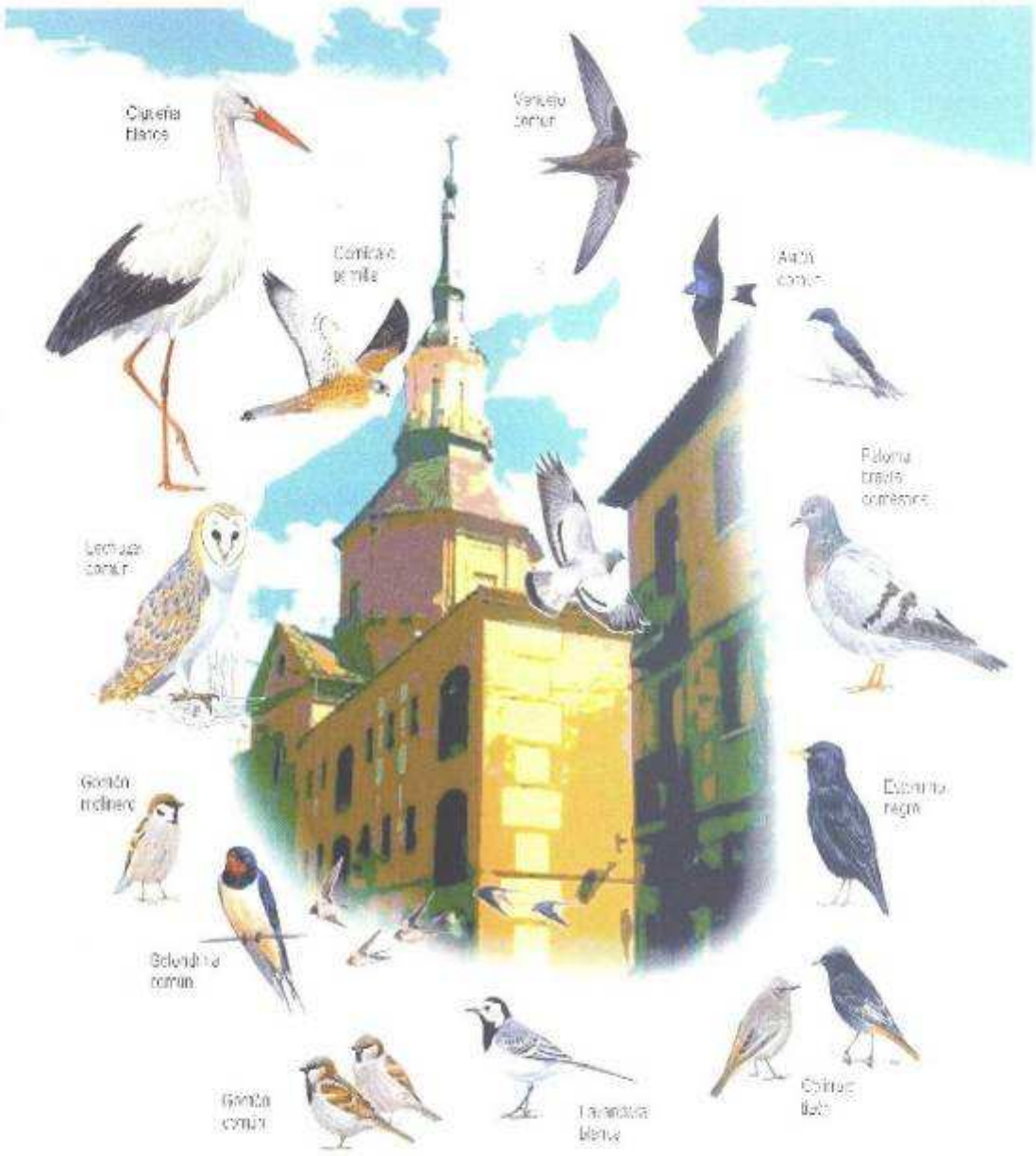

Figura 5. *Aves que crían principalmente en edificaciones de zonas urbanas situadas próximas a la vega. La figura incluye especies estivales (como la golondrina común) y sedentarias (como los gorriones común y molinero). En la figura no se incluyeron las especies que crían en la vegetación de parques y jardines. Estas últimas normalmente mantienen poblaciones poco numerosas porque son muy sensibles a las fuentes de estrés urbano (elevado trasiego humano y de tráfico, continuas operaciones de limpieza y remodelación de los espacios, elevada densidad de gatos domésticos y semi-domésticos, etc.). Una excepción es la tórtola turca, que nidifica principalmente en zonas ajardinadas. Muchas especies que nidifican en el ambiente urbano hacen largos desplazamientos diarios para alimentarse en las zonas periurbanas, como la cigüeña blanca, cernícalo primilla, vencejo común, golondrina común, avión común, palomas bravías, etc.*

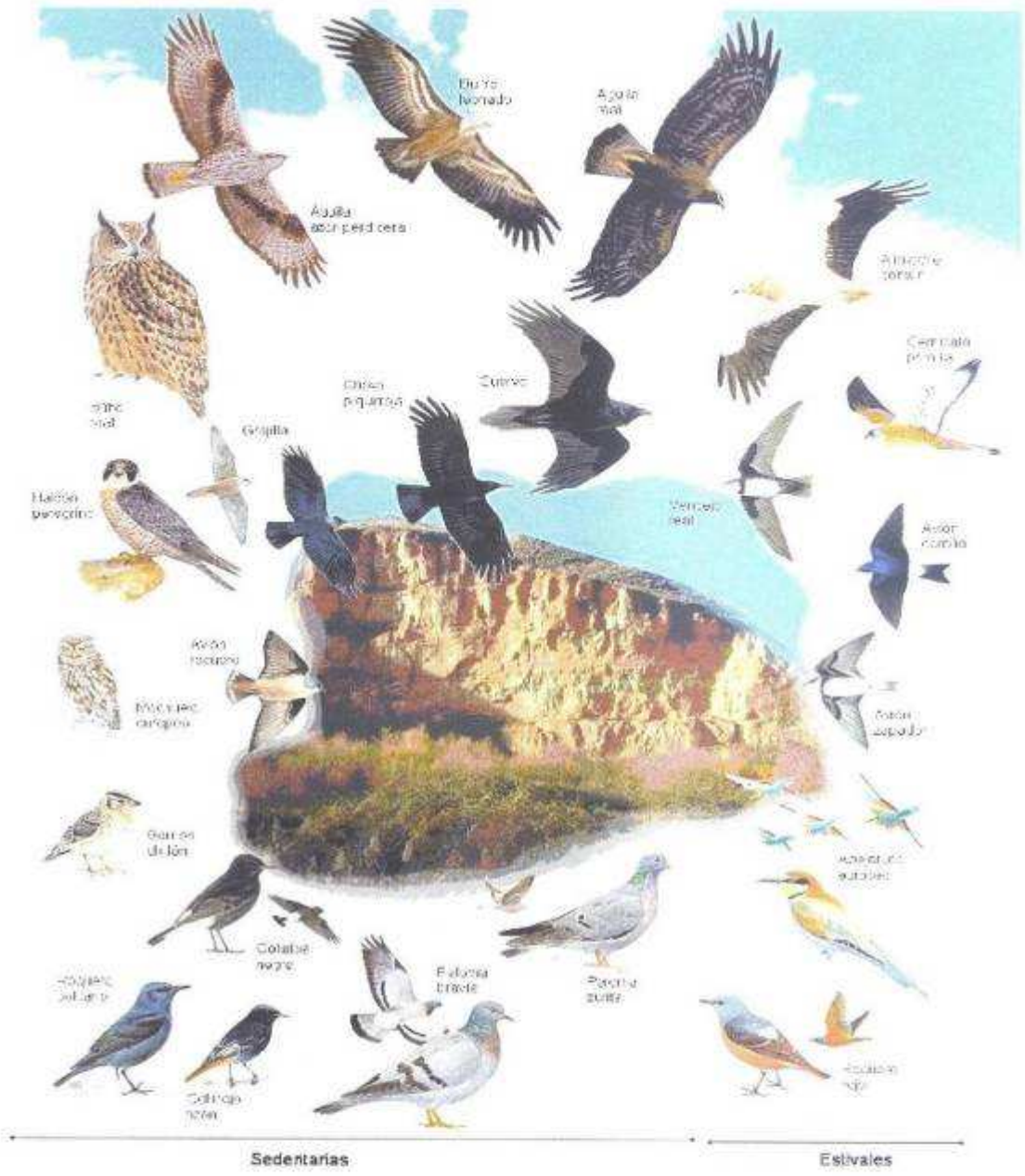

Figura 6. *Aves que se reproducen principalmente en los medios rupícolas (escarpes, cortados, taludes) situados en las proximidades de la vega. La figura incluye especies estivales (a la derecha) y sedentarias (a la izquierda). Algunas especies nidifican también en los núcleos urbanos, utilizando los edificios para situar sus nidos (cernícalo primilla, avión común, grajilla). Destaca la presencia de aves rapaces grandes tanto diurnas (águila real, águila perdicera, alimoche y buitre leonado) como nocturnas (búho real), así como varias especies de córvidos (grajilla, chova piquirroja y cuervo). Los medios rupícolas son uno de los principales atractivos de la vega pero son muy sensibles a las molestias humanas porque son espacios abiertos. Es imprescindible limitar el acceso de las personas evitando la construcción de pistas o puentes que permitan cruzar a uno y otro lado del río y acceder a este tipo de medios.*

Cuadro 2. *Aves rapaces rupícolas diurnas de gran tamaño.*

Las aves rapaces de tamaño grande y mediano que crían en las paredes y escarpes fluviales del río Henares y tributarios son uno de los principales atractivos de la vega. Entre estas aves destacan las siguientes:

- Águila perdicera: 2 parejas. En peligro de extinción en la zona. La población parece estabilizada, a pesar de que solo quedan 4 parejas en todo el cuadrante noroeste de Guadalajara y con productividad muy baja.
- Alimoche: 10 parejas en el año 2000. Población que parece estabilizada a pesar de su regresión a nivel nacional. Son las únicas parejas de todo el noroeste de Guadalajara. En la Comunidad de Madrid está extinguido desde 1988. El cierre de muladares puede afectarle gravemente.
- Águila real: población abundante en las sierras del noroeste de Guadalajara, con al menos 20 parejas. Población en expansión que está colonizando el curso medio del valle nidificando en árboles.
- Buitre leonado: 100 parejas en 1999. Población en aumento en toda España. Le puede perjudicar el cierre de muladares y otros puntos de alimentación por la aplicación estricta de la nueva normativa sanitaria a raíz de los problemas de las vacas locas.

El halcón peregrino casi ha desaparecido (4 parejas) del curso medio-bajo del río Henares, cuando hace sólo 12 años había 15 parejas. Era una densidad elevada si la comparamos con otras poblaciones existentes en el mundo. Las parejas mantenían una alta productividad y frecuentemente sacaban cuatro pollos, e incluso hay un caso excepcional con cinco pollos volados. Sus presas favoritas, la paloma doméstica y estornino negro, son todavía abundantes ¿Qué ha pasado? Hay varias razones interrelacionadas.

La razón principal ha sido la recolonización del curso medio y bajo del río Henares por el búho real. Ha pasado de estar casi extinguido a estimarse más de 30 parejas. Esta recuperación se debe a la disminución de la persecución humana y a la abundancia actual de conejo, llegando a sacar hasta cinco pollos por nidada. A diferencia del halcón, que sólo suele criar en los cortados medianos y grandes situados junto al río, el búho también cría en pequeños escarpes en los cerros por lo que su población es mucho mayor que la del halcón. El búho se come los pollos del halcón, en especial cuando son volanderos, pero también depreda sobre los adultos, especialmente hembras incubando. Los halcones han tenido que cambiar sus hábitos y ya no duermen en los cortados. Los abandonan al atardecer para dormir en torretas de alta tensión situadas a varios kilómetros enfrente del cortado. Esto incluye a los dos adultos reproductores, aunque la hembra se queda con los pollos cuando todavía son pequeños. Las dos especies son muy territoriales. Una vez que el búho coloniza un cortado, en 2-3 años el halcón ha desaparecido. Primero deja de criar, muy nervioso por la presencia del búho, y después abandona el territorio o es depredado por el búho.

Otra causa importante de desaparición de los halcones son los plaguicidas usados en los campos de cultivo de la vega del río, su principal zona de caza. La introducción del cultivo intensivo de regadío de maíz en los años ochenta ha afectado negativamente al Halcón. Los plaguicidas detectados en huevos infértiles y ejemplares encontrados muertos han sido organoclorados (DDT) y organofosforados. Los organoclorados son acumulativos y producen problemas en la reproducción llegando a causar infertilidad y muerte. Provocan reducción del grosor de la cáscara de los huevos

y la inviabilidad de los embriones. Coincide exactamente con lo observado en el valle del Henares, donde la mitad de las parejas no ponen huevos o fracasan en la incubación. En poblaciones libres de contaminantes como las de Vizcaya o las de la sierra prelitoral de Barcelona prácticamente el 100% de las parejas sacan pollos adelante.

Otras causas del declive del halcón se refieren a la alta mortalidad de la especie por los tendidos eléctricos, tanto por electrocución como por choque con los cables, la caza ilegal que, aunque en menor grado, aun subsiste, y por último el expolio de pollos fue muy importante en los ochenta, se redujo progresivamente en los noventa gracias a las campañas de vigilancia de los nidos y prácticamente ha desaparecido en la década actual. El expolio era ya muy bajo cuando se produjo el descenso de las poblaciones de halcón. La transformación del territorio, urbanización, vías de comunicación, pueden haber afectado también negativamente a la especie.

El ambiente rupícola también presenta especies de tamaño menor, que son menos exigentes (como es el caso del mochuelo europeo, gorrión chillón, roquero solitario, colirrojo tizón, collalba negra) que aparecen en escarpes menos altos o que necesitan repisas o agujeros más pequeños para nidificar. Finalmente, aparecen especies (avión zapador, abejaruco europeo) que construyen sus propios agujeros y pueden criar en escarpes de todavía menor altura, siempre y cuando presente alguna capa de sustrato arenoso fácil de excavar.

Los ambientes rupícolas del río Henares son uno de los principales atractivos de la vega. Presentan un elevado interés de conservación y deberían estar todos protegidos. Estos medios rupícolas han de permanecer inaccesibles al trasiego humano, evitando la proliferación de pistas en la margen correspondiente de la ribera. La composición de la comunidad de aves es un buen indicador de la calidad de estos medios rupícolas, indicando la disponibilidad de agujeros para criar o, por el contrario, poniendo de manifiesto excesivas molestias humanas.

Podemos concluir que el interés de conservación de la avifauna del conjunto de la vega es alto pero la calidad del agua del río en su tramo alto es baja debido a la presencia de vertidos de la ciudad de Sigüenza. Aguas abajo el río se recupera parcialmente debido a que incorpora aguas de mejor calidad procedentes de sus afluentes, a la autodepuración del río y a la presencia de depuradoras en Guadalajara, Azuqueca y Alcalá de Henares. La comunidad de aves acuáticas sólo aparece relativamente bien desarrollada en el tramo próximo a la desembocadura en el río Jarama, incluido prácticamente todo en el Parque Regional del Sureste (a excepción de la finca Soto de Aldovea). Además, también presentan un elevado interés de conservación aquellos tramos del río con una mayor complejidad estructural, es decir, donde coinciden cortados fluviales, bosquetes bien conservados y superficies más o menos extensas de vegetación acuática. Todos esos tramos, fisionómicamente muy complejos, deben preservarse como zonas de interés natural y no utilizarse como zonas de ocio. Es el caso de la desembocadura del Bornova, Bujaralo, la zona de Miralcampo-El Encín-cortados de la finca de la Oruga en Alcalá y la zona del Caserío del Henares-Mejorada.

Características de las Aves de la Vega

Las aves presentes en la vega constituyen un grupo muy variado de especies adaptadas a diferentes hábitats, tipos de alimento y lugares de nidificación. En conjunto se aprecia una amplia gama de adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento, que se manifiesta en forma de diferentes pautas migratorias y una elevada variedad de tamaños, formas y colores de picos, plumas, patas y del individuo en general. En este apartado mostraremos los tipos de fenologías, alimentos, lugares de nidificación y estatus de conservación de las aves de la vega del Henares.

Fenología reproductora:

Según el periodo del año en el que las especies utilizan la vega se distinguen aves sedentarias, estivales, invernantes y en paso migratorio. La proporción de especies pertenecientes a cada uno de estos grupos fenológicos varía mucho con el tipo de hábitat (Figura 7), lo que indica la existencia de importantes diferencias en la oferta estacional de recursos tróficos y lugares para nidificar entre unos ambientes y otros. Por ejemplo, los ambientes rupícolas están dominados por especies sedentarias y estivales y carecen de especies invernantes. Esto es debido a que es un medio utilizado casi exclusivamente para nidificar y carece de oferta trófica atractiva para aves invernantes. Las especies invernantes utilizan principalmente los medios acuáticos y agrícola-ganaderos, que son los que acogen al grueso de las poblaciones europeas inmigrantes en la vega.

En los ambientes de vega del río Henares pueden observarse unas 75 especies de aves sedentarias, que representan el 54,5% de las especies de aves de la ribera (Anexo). Las aves sedentarias son dominantes en los ambientes rupícolas, seguidos de los urbanos y forestales (Figura 7). Algunas aves sedentarias en la Península Ibérica aumentan su número de individuos durante el invierno debido a la llegada de inmigrantes procedentes del Norte de Europa. Por ello, el carácter migratorio no depende realmente de las especies sino de las poblaciones. Mientras algunas poblaciones españolas de mirlo común son sedentarias, poblaciones de la misma especie que viven en el Norte, en países con inviernos más rigurosos que el nuestro, son migratorias y pasan el invierno en latitudes más bajas. También es el caso del cernícalo vulgar, paloma torcaz, o varias especies de fringílidos como el verdecillo, verderón común, jilguero y pardillo común.

Pueden observarse unas 39 especies exclusivamente estivales (representan el 27% de las especies de aves de la ribera), que sólo están presentes en la vega del Henares durante el periodo reproductor (Anexo). Estas especies suelen llegar a principios de primavera y marcharse a finales del verano, una vez terminada la reproducción. La proporción de especies estivales es bastante similar en los cinco ambientes que hemos diferenciado en la vega (Figura 7), lo que sugiere que durante esta época favorable del año todos los ambientes ofrecen interesantes recursos tróficos y/o lugares adecuados para la nidificación. Los meses fríos del año las aves estivales los pasan en sus cuarteles de invierno situados normalmente en el África sub-sahariana. Es el caso de la golondrina común, avión común, vencejo común, ruiseñor común, abejaruco europeo, tórtola europea, cernícalo primilla, entre otros. Algunas especies estivales están acortando sus migraciones y muchos de sus efectivos pasan ya el

invierno en localidades más próximas, pre-saharianas, como es el caso de la cigüeña blanca, codorniz común, abubilla y autillo europeo. Grupos de adultos de cigüeña blanca permanecen todo el año en la Península Ibérica, estimándose que un 40% de los adultos de Alcalá de Henares permanece en la ciudad. Las razones de estos cambios en las pautas migratorias son complejas y tienen que ver con alteraciones del hábitat en los lugares tradicionales de invernada, cambios en la disponibilidad de recursos tróficos en los lugares de nidificación y, posiblemente, también con cambios climáticos.

Al menos 27 especies de aves sólo pueden observarse durante el invierno y representan en torno al 19% de las aves de la ribera (Anexo). Estas especies no se reproducen en la vega del Henares, aunque algunas tienen poblaciones reproductoras muy próximas en la Comunidad de Madrid, como es el caso de la alondra común. Otras especies tienen sus principales áreas de reproducción al Norte de los Pirineos como es el caso de la bisbita común, estornino pinto y esmerejón (este último nidifica muy al Norte, en la Tundra). Debido a que el número de invernantes es menor que el de estivales, la comunidad de aves en invierno es algo más pobre en especies que el periodo estival y presenta una mayor dominancia de aves fitófagas y omnívoras (especialmente fringílidos, páridos y córvidos). Esto refleja el descenso general de recursos tróficos disponibles (o accesibles) durante el invierno y, de manera especial, de la producción de invertebrados.

Desde tiempos relativamente recientes (una o dos décadas), se está produciendo un aumento notable en la invernada de gaviotas en el interior peninsular. Pueden verse cientos, e incluso miles, de gaviotas sombrías y reidoras durante sus desplazamientos diarios entre los dormideros y los vertederos, los cuales les sirven de principal fuente de alimento. Por ejemplo, entre un descansadero situado en la gravera colindante con la prisión de Alcalá-Meco y el vertedero de residuos sólidos urbanos de Alcalá de Henares, situado al comienzo de la subida al Gurugú.

Durante el invierno, las aves no están distribuidas en función de los lugares adecuados para nidificar, como en el periodo estival, sino en función de la abundancia de alimento, que es el factor limitante en esa época del año. Para muchas especies el alimento no aparece distribuido uniformemente como ocurre en primavera, sino concentrado en determinados lugares concretos. Por eso, muchas especies se agrupan en bandos, los cuales son más eficientes para localizar eso lugares dispersos pero con alimento abundante. En ocasiones esos bandos son mixtos, formados por especies diferentes que cooperan entre sí en la búsqueda de alimento y en la vigilancia y defensa a los depredadores. Son muy frecuentes los bandos mixtos de varias especies de fringílidos o también de páridos que buscan alimento con otras especies como el agateador común o el trepador azul.

La Península Ibérica es utilizada como lugar de invernada por muchas especies o vía de paso de invernantes africanos (transaharianos principalmente) por su posición meridional respecto a Europa, grandes dimensiones, régimen climático especial (presencia de ambientes con inviernos suaves, no sólo en los ambientes mediterráneos sino también en los atlánticos) y compleja orografía. Las principales rutas de desplazamiento entre Europa Occidental y África bordean la Península Ibérica siguiendo, a grandes rasgos, la línea de la costa, especialmente la mediterránea. Aunque

la cuenca del Henares está alejada de esas principales rutas de migración, recientes estudios están aportando resultados sorprendentes, demostrando que el río Henares y las laderas que bordean la vega organizan importantes flujos migratorios por el interior peninsular. La Cuenca del río Henares actuaría a modo de canal natural que conecta La Mancha y el Valle del Ebro.

Observaciones realizadas en el Parque de los Cerros de Alcalá de Henares han estimado que entre 10.000-15.000 aves planeadoras grandes siguen habitualmente el valle del Henares en sus desplazamientos migratorios. De ellas, entre 4.000-5.000 son aves rapaces. Por especies, se han contabilizado unos 2.100 milanos negros, 4.000 grullas, 800 cigüeñas blancas, 300 cormoranes grandes, y 70 abejeros europeos. También se ha detectado, aunque con cifras inferiores, paso de buitre leonado, águilas culebrera, pescadora y calzada, aguiluchos lagunero, pálido y cenizo, milano real, busardo ratonero, gavilán, alimoche, espátula, cigüeña negra, y ánsar común.

Además, los datos obtenidos en estaciones de anillamiento aguas abajo del río Jarama, como la de Las Minas en San Martín de la Vega, muestran también un paso muy abundante de pequeñas aves paseriformes. Estas paseriformes suelen migrar de noche para escapar de los depredadores alados y utilizar las horas de luz para alimentarse. Las especies migratorias entre Europa y África más observadas son el papamoscas cerrojillo, con un paso post-nupcial impresionante entre mediados de agosto y de octubre, la tarabilla norteña, colirrojo real, golondrina común, avión común, collalba gris, papamoscas gris, bisbita arbóreo, y torcecuello euroasiático.

Otras especies de costumbres más reservadas o que frecuentan los carrizales sólo son detectadas cuando se capturan con redes verticales. Es el caso del carricero común, avión zapador, pechiazul, carricerín común, buscarla pintoja, currucas capirotada, mosquitera y zarcera, mosquiteros común y musical, pájaro moscón, escribano palustre y verderón común. En dichas estaciones se están capturando individuos anillados como pollos en Francia, Países Bajos, países nórdicos, Alemania, etc. Otras especies que pueden observarse en paso en distintos ambientes de la vega son la cerceta carretota, polluela pintoja, andarríos grande, avoceta, escribano hortelano, picogordo, etc.

Todas esas observaciones ponen de manifiesto un intenso tránsito de aves migrantes, lo que puede reconsiderar el papel del interior peninsular en las rutas de muchas aves europeas. Teniendo en cuenta este elevado número de especies y individuos, la vega del Henares y las laderas y terrazas próximas serían un lugar de importancia internacional para la migración de aves. Estas aves en paso migratorio pueden verse fácilmente en primavera y otoño sobrevolando la vega del río Henares, elevando mucho el número final de especies que de una u otra manera pueden ser vistas en esa parte del valle fluvial.

Alimentación:

En la vega del Henares pueden observarse especies de aves que se alimentan de recursos tróficos muy diferentes. Hay unas 35 especies carnívoras, especializadas en alimentarse de otros vertebrados (Figura 8 y Anexo). Es el caso del cormorán grande o rapaces como el azor, gavilán, halcón peregrino y lechuza común. Otras especies

combinan la caza de vertebrados con la búsqueda de carroña (caso del milano negro) o se alimentan sólo de restos de vertebrados muertos que encuentran normalmente en los vertederos (gaviotas sombría y reidora). Otras especies cazan activamente tanto vertebrados como invertebrados, como la cigüeña blanca, cernícalos primilla y vulgar, alcaudón común, mochuelo europeo y esmerejón.

Otro grupo de aves son insectívoras (unas 43 especies), aunque la mayoría de ellas se alimentan de una gran variedad de invertebrados y no sólo de insectos. Destacan los hirundínidos (golondrina común y aviones común y zapador), apodiformes (vencejo común) y chotacabras cuellirrojo y europeo, porque se alimentan de pequeños insectos que capturan en vuelo ("plancton aéreo"). Otras especies capturan abejas y avispas (como el abejaruco europeo) o larvas xilófagas que encuentran en la madera podrida (pícidos como el pito real). Otras especies, como la abubilla, tienen un pico largo que les permite acceder a los invertebrados escondidos en los primeros centímetros del suelo o en agujeros de troncos y paredes. La mayoría de estas especies abandonan la vega del río Henares durante el invierno debido a la escasez de invertebrados activos.

Otro grupo importante de especies son vegetarianas, principalmente granívoras (unas 17 especies). Entre ellas destacan las palomas (zurita, bravía y torcaz) y tórtolas (turca y europea), gorriones (común y molinero) y fringílidos (verdecillo, verderón común, jilguero, pardillo común y pinzón vulgar). Tanto los gorriones como los fringílidos capturan también insectos para alimentar a las crías, las cuales requieren fuentes adicionales de nitrógeno durante el período de crecimiento. La mayoría de estas especies son sedentarias en la vega del río Henares debido a la abundancia de alimento vegetal (frutos y semillas principalmente) en los campos de cultivo y eriales de la zona de vega.

Finalmente, muchas especies son omnívoras (unas 46 especies), alimentándose de materia orgánica animal y vegetal. Es el grupo más numeroso de especies. Destacan los aláudidos (alondra y cogujada comunes), túrdidos (mirlo y zorzal comunes), sílvidos (currucas rabilarga y cabecinegra), gallináceas (perdiz roja y codorniz común), páridos (carbonero y herrerillo comunes), córvidos (urraca y grajilla) y lavanderas y bisbitas (lavanderas blanca y cascadeña y bisbita común). Muchas de estas especies son sedentarias o invernantes.

La dieta de las aves influye mucho en su fenología (Figura 8). Por ejemplo, las especies insectívoras son principalmente estivales, lo cual refleja la fuerte estacionalidad en la producción de invertebrados en la vega del Henares. Las escasas especies insectívoras invernantes son principalmente aves con una alimentación muy especializada por medio de picos largos (como la chocha perdiz y agachadiza común) que les permiten alimentarse de invertebrados edáficos situados a varios centímetros de profundidad en el suelo.

Las especies vegetarianas (en su mayoría frugívoras y granívoras) son principalmente sedentarias, lo que refleja que estos recursos tróficos son abundantes durante todo el año a pesar de la marcada estacionalidad que existe a esta latitud.

La elevada producción de semillas durante el periodo de primavera y verano y de frutos durante el otoño y principios del invierno permite incluso la acogida de aves invernantes en los ambientes abiertos de vega dominados por cultivos. Por ello, la estrategia omnívora es, posiblemente, la mejor adaptada a estos medios estacionales y es la que tiene una mayor proporción de especies sedentarias. Estas especies son oportunistas, experimentan intensos cambios de dieta a lo largo del año, siendo esencialmente vegetarianas durante el invierno porque la abundancia de invertebrados activos es más reducida.

Lugar de nidificación:

El lugar de nidificación es un aspecto clave en la vida de las aves porque influye decisivamente en la supervivencia de los adultos y de la descendencia. Las aves seleccionan mucho el lugar de nidificación y estas preferencias explican bastante bien el hábitat que utilizan durante el periodo reproductor. Los tipos de emplazamientos son tan variados que no es fácil agruparlos en unas pocas clases (Figura 9 y Anexo). En la vega podemos distinguir básicamente cuatro tipos de emplazamientos.

En primer lugar, especies que nidifican en agujeros, que pueden estar situados en diferentes tipos de substratos: paredes o escarpes fluviales (alimoche, chova piquirroja, mochuelo), taludes arenosos (avión zapador, abejaruco europeo) o en ramas gruesas y troncos de vegetación arbórea (pájaros carpinteros, carboneros y herrerillos, agateadores, etc).

En segundo lugar, especies que sitúan sus nidos sobre la vegetación, tanto sobre vegetación leñosa (urraca, alcaudón real, tórtolas, mirlo común, diversas especies de fringílidos, pájaro moscón) como en carrizales (carriceros común y tordal, avetorillo, rascón europeo). En tercer lugar, hay especies que utilizan repisas y extra-plomos en escarpes fluviales (buitre leonado, águilas perdicera y real, vencejo real), en escarpes fluviales o edificios (halcón peregrino, aviones común y roquero, golondrina común).

Finalmente hay especies que sitúan sus nidos a nivel del suelo (ruiseñor común, diversos aláudidos, triguero) o del agua construyendo en este último caso nidos flotantes (focha común, zampullín chico).

Las aves pueden encontrar emplazamientos adecuados en las edificaciones humanas habitadas o en ruinas. Dentro de estas aves se encuentran hirundínidos (golondrina y avión comunes), apodiformes (vencejo común y, posiblemente, también vencejo pálido), gorriones, aves rapaces diurnas (cernícalos común y primilla) y nocturnas (lechuza común, mochuelo europeo, autillo) y otras especies como cigüeña blanca, paloma doméstica, colirrojo tizón, abubilla, estornino negro y grajilla. Esta riqueza natural de nuestros edificios y ruinas debe protegerse y en las obras de restauración de los mismos es fundamental que tengamos en cuenta la época de nidificación de las aves y la conservación de los nidos. La presencia de lugares adecuados para nidificar es, con frecuencia, relativamente escasa. Por ello, una medida adecuada de gestión que suele dar muy buenos resultados es el aumento de los lugares disponibles para nidificar colocando nidos o plataformas artificiales.

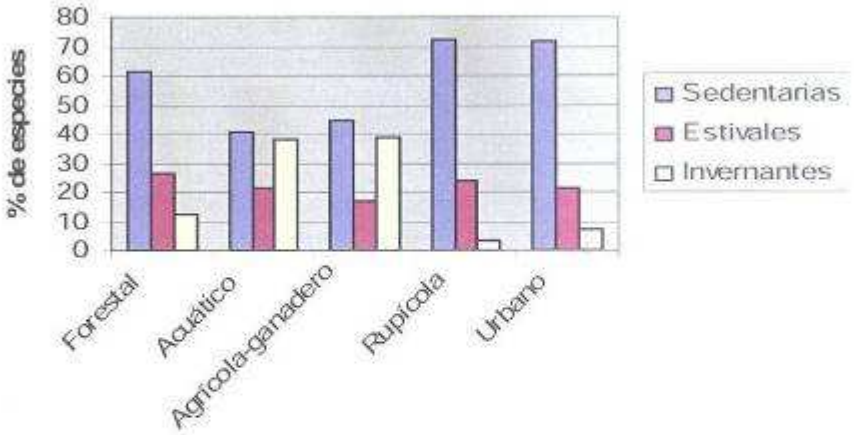

Figura 7. *Proporción de especies sedentarias, estivales e invernantes en cada uno de los cinco ambientes principales de la vega del Henares.*

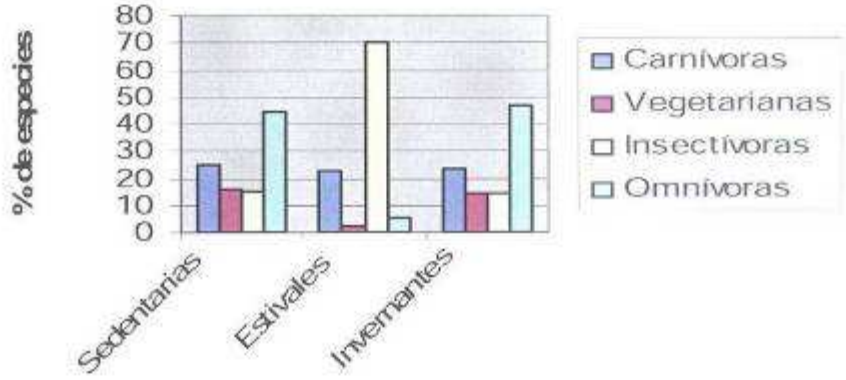

Figura 8. *Proporción de especies carnívoras, vegetarianas (principalmente granívoras), insectívoras y omnívoras existente entre cada uno de los tres grupos fenológicos de aves (sedentarias, estivales e invernantes).*

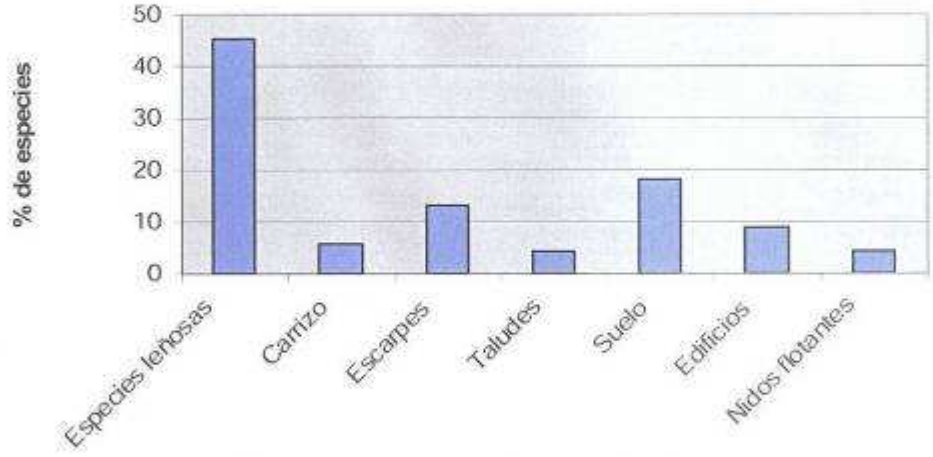

Figura 9. *Proporción de especies que nidifica en los distintos tipos de substratos existentes en la vega.*

Estatus de conservación:

En el Anexo se muestran, para todas las especies de la vega del Henares, las categorías de amenaza para España según la UICN (2001) y publicadas en Martí y del Moral (2003). La definición de dichas categorías se muestra en el cuadro 3. Se reproducen en la vega del río Henares al menos 5 especies catalogadas como amenazadas a nivel nacional (en peligro: águila-azor perdicera y alimoche común; vulnerables: cernícalo primilla, tórtola europea y carraca europea), 7 especies casi amenazadas (águila real, chova piquirroja, martín pescador, zampullín cuellinegro, alcaudón común, alcaudón real y milano negro) y 4 especies sin información suficiente (paloma zurita, perdiz roja, codorniz común y torcecuello euroasiático).

Cuadro 3. *Categorías de amenaza a nivel nacional (UICN 2001).*

- En peligro crítico: especies que se enfrentan a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado silvestre.
- En peligro: especies que se enfrentan a un riesgo de extinción muy alto en estado silvestre.
- Vulnerable: especies que se enfrentan a un riesgo de extinción alto en estado silvestre.
- Casi amenazado: especies que no han sido evaluadas como en peligro crítico, en peligro o vulnerables, sin embargo, han estado próximas a cumplir los criterios de amenaza o es probable que califiquen para una de las categorías de amenaza en un futuro cercano.
- Sin información suficiente: no se dispone de información suficiente sobre su abundancia, distribución y tendencias para emitir un juicio.
- No amenazado ("preocupación menor"): especies de amplia distribución y abundantes.

En dicho anexo también se muestran las categorías de amenaza a nivel europeo (grupos SPEC) publicadas recientemente en BirdLife International/European Bird Censul Counsil (2000). Dichas categorías aparecen definidas en el cuadro 4. En la vega del río Henares se reproducen o invernan numerosas especies amenazadas en Europa. En concreto 1 especie (cernícalo primilla) clasificada como SPEC 1, 9 especies como SPEC 2 y 30 especies como SPEC 3. Además en la Reserva Ornitológica Municipal de Azuqueca de Henares se ha detectado en invierno en los últimos años la presencia de un ejemplar de porrón pardo, una especie considera en Peligro Crítico a nivel nacional y SPEC 1 a nivel europeo.

Cuadro 4. *Categorías de amenaza a nivel europeo (BirdLife International/European Bird Censul Counsil 2000).*

- SPEC 1: especies clasificadas como amenazadas a nivel mundial.
- SPEC 2: especies con estatus de conservación desfavorable y cuyas principales poblaciones se concentran en Europa.
- SPEC 3: especies con estatus de conservación desfavorable y cuyas poblaciones no se concentran en Europa.
- SPEC 4: especies con estatus de conservación favorable y cuyas poblaciones se concentran en Europa.

Teniendo en cuenta el elevado número de especies amenazadas o casi amenazadas a nivel nacional y europeo, la vega del río Henares puede considerarse un lugar importante para la conservación de las aves en la Peninsula Ibérica.

Lugares de Interés Ornitológico

En el ambiente de vega del río Henares existen algunos espacios naturales protegidos o en trámites para su protección que presentan elevado interés ornitológico. A continuación se presenta una breve descripción de los mismos. En este listado y descripción ha colaborado el biólogo D. Marco Nieto.

Parque Natural del Barranco del Río Dulce:

Valle excavado por el río Dulce (tributario del río Henares) con numerosas peñas altas de naturaleza caliza donde nidifica el buitre leonado (40 parejas), alimoche (3 parejas), águila real, águila perdicera, halcón peregrino, búho real y chova piquirroja. Fue protegido por la ley 5/2003 de 27 de Febrero y el primer borrador de su PRUG (Plan Rector de Uso y Gestión) data de junio de 2005. La zona protegida comprende desde Jodra del Pinar hasta Mandayona, a través de Peregrina, La Cabrera y Aragosa. Presenta un soto fluvial de chopos, fresnos y sauces bien conservado y bosques de encinas y quejigos en las laderas. Abunda el corzo y el jabalí. En las orillas del río crían mirlo acuático, martín pescador y lavandera cascadeña.

Reserva Natural de las Lagunas de Puebla de Beleña:

Complejo lagunar situado en Puebla de Beleña (Guadalajara) y formado por dos lagunas endorreicas de moderado tamaño (denominadas Grande y Chica) y una zona de pastizales de encharcamiento temporal. Declaradas Reserva Natural en el año 2001 e incluidas en el Convenio Ramsar en 2002. También son ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) y LIC (Lugar de Interés Comunitario). Este complejo lagunar tiene carácter marcadamente estacional, por lo que sólo en los años muy húmedos mantiene suficiente agua en primavera-verano para permitir la nidificación de interesantes aves acuáticas. Crían el zampullín cuellinegro, cerceta carretona, pato cuchara, ánade friso, cigüeñuela común, avefría europea, zampullín chico, focha común, somormujo lavanco, porrón común y aguilucho lagunero. Durante el periodo de migración hay grullas que descansan en las lagunas en paso prenupcial. También se ven en paso gansos, limícolas, cigüeña negra y blanca en concentraciones premigratorias. En invernada es un buen sitio donde observar anátidas.

Reserva Ornitológica Municipal de Azuqueca de Henares: (texto elaborado por D. Jesús Puebla y D. Luís Mesonero)

La Reserva Ornitológica ocupa terrenos anteriormente destinados a depuración por lagunaje. Este sistema de depuración consiste, esencialmente, en el aprovechamiento de procesos naturales en la depuración de las aguas residuales. Las aguas residuales o negras recorren una serie de lagunas o balsas de distinta profundidad y superficie. La aireación natural, digestión bacteriana de la materia orgánica y sedimentación de las partículas resultantes de esa digestión, componen el sistema de depuración. Es un método relativamente económico por su reducido mantenimiento pero que necesita una gran superficie de terreno, por lo que resulta especialmente apto para aguas residuales urbanas de poblaciones medias o bajas.

La Reserva Ornitológica ocupa una superficie de 9,8 Ha, con 5,9 Ha de superficie lagunar, en la que se distinguen cuatro cubetas. Las dos más grandes fueron proyectadas como lagunas facultativas (reservadas a procesos aerobios y anaerobios) y las otras dos como lagunas de maduración, en las que se daban fundamentalmente procesos aerobios y de eliminación de patógenos. Originariamente el sistema contaba con tres balsas anaerobias adicionales destinadas a la digestión del contenido de los residuos líquidos diluidos. Tras este diseño en 1986, que implicó la construcción de toda esta serie de balsas tres años después, ha tenido lugar un paulatino proceso de desarrollo del complejo que ha tendido hacia una cierta "naturalización". En los márgenes se estableció una orla de vegetación propia de ambientes palustres que permitió el establecimiento de importantes especies de aves. Esto llevó a la Concejalía de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Azuqueca de Henares en el 2003 al inicio de un estudio de planificación para la creación de la Reserva Ornitológica Municipal. El objetivo era aprovechar las cualidades naturales del entorno y las derivadas de los nuevos elementos de mejora del hábitat para ofrecer distintos servicios ambientales: estudio, conservación y educación.

Podemos observar muchas especies de aves favorecidas por la proximidad de la Reserva al río Henares. En 1989, en los primeros años de la construcción de las lagunas, criaron el chorlitejo chico y una colonia de cigüeñuelas. En la actualidad, con las mejoras de hábitat que se han llevado a cabo, como remodelación de orillas, creación de playas e islas, potenciación y mejora de comunidades de vegetación hidrófila e incluso higrófila, así como la mejora de la calidad de las aguas presentes en las cubetas, el número de aves que utilizan la Reserva para criar, alimentarse o simplemente descansar en sus desplazamientos migratorios ha aumentado considerablemente.

Hay especies de aves sedentarias como el ánade azulón, gallineta común, focha común, zampullín chico y porrón europeo. A estas especies más comunes se les suman otras a comienzo del otoño y que estarán hasta finales del invierno como el porrón moñudo, ánade rabudo, cuchara común, cerceta común, ánade friso y pato colorado. Cabe citar la presencia durante los últimos años de un ejemplar del amenazado porrón pardo. El andarríos chico, andarríos grande, chorlitejo chico, junto con algunos archibebes comunes y avefrías europeas son los limícolas que podemos ver recorriendo las orillas. En los carrizales de la Reserva, el calamón se alimenta de eneas, compartiendo lugar con el escurridizo avetorillo común, que junto con el martinete común, garza real, garza imperial, garcilla bueyera y garceta común son las máximas representantes de las ardeidas de la Reserva. El migrador autillo europeo y el búho chico son las rapaces nocturnas presentes en el soto. Entre las rapaces diurnas destacan el aguilucho lagunero, milano negro, azor, busardo ratonero y los pequeños falcónidos, esmerejón y cernícalo vulgar. Especies que se pueden observar a lo largo del año en escasas ocasiones son el cormorán grande, garcilla cangrejera, gaviota reidora, gaviota sombría, águila pescadora, abejero europeo o zampullín cuellinegro.

Toda esta gran riqueza ornítica llevó a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a la declaración el 26 de octubre de 2004 de la Reserva Ornitológica Municipal de Azuqueca de Henares como Refugio de Fauna y Zona Sensible de Especial Protección.

Espacio Natural "Soto del Henares":

Comprende ambas márgenes del río Henares entre el puente de los Santos y los cortados de la Oruga, incluyendo las fincas de El Encín y de la Canaleja, en los términos municipales de Alcalá de Henares y Los Santos de la Humosa. Un decreto en el año 2000 le dio un régimen de protección preventiva, que lamentablemente no ha desembocado en la declaración de espacio protegido. El soto situado en la finca El Encín es el mejor conservado del río Henares. Se encuentra formando un complejo de cortados, bosque ripario, espacios abiertos y humedales que está amenazado en la actualidad por un proyecto de Parque Temático de la Comunidad de Madrid y por el avance del Plan General de Ordenación Urbana que lo pretende declarar zona urbanizable.

En los cortados crían dos parejas de halcón peregrino, aunque llegó a haber tres parejas. En el periodo 1988-96 criaron dos parejas en dos cortados contiguos a una distancia de 250 m, que supone la menor distancia conocida entre dos nidos de halcón a nivel mundial. Crían cuatro parejas de búho real, dos de busardo ratonero, una de azor y una de aguilucho lagunero. Criaba una de milano negro y otra de cuervo, pero ambas han desaparecido. Cría probable del alcotán y posible del gavilán. También nidifica el cárabo, búho chico, lechuza común, mochuelo y autillo europeo. Es zona de alimentación de aguililla calzada y dormidero de cormorán grande. Cría una pareja de cigüeña blanca. En la gravera de miralcampo, situada río arriba lindando con El Encín, nidifican dos-tres parejas de garza imperial, calamón, porrón europeo, rascón, aguilucho lagunero y avetorillo. La comunidad de aves forestales del soto es muy rica destacando la abundancia de ruiseñor común y pito real, y la nidificación del petirrojo, zorzales común y charlo, escribano soteño, pinzón vulgar, pájaro moscón, pico picapinos y torcecuello euroasiático. En la zona cerealista de la finca que proyectan urbanizar cría el alcaraván, una pareja de aguilucho cenizo y es frecuentada por un bando de unos 80 sisones.

Parque Regional del Sureste:

Declarado en junio de 1994. En febrero de 1999 se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN). Incluye el tramo más bajo del río Henares, desde el puente de la carretera de Torrejón a Loeches hasta su desembocadura en el río Jarama.

Aldovea: el bajo Henares:

El tramo más bajo del río Henares, justo antes de la desembocadura en el río Jarama, es excepcional para las aves acuáticas. Está protegido en el Parque Regional del Sureste, a excepción de la finca Soto de Aldovea. Además del bosque de ribera, es interesante destacar que esta finca presenta un meandro abandonado, unas pequeñas graveras, un extenso tarayal y un bosquete de pinos piñoneros altos y maduros. En la margen derecha se encuentra la finca de la Comunidad de Madrid "el Caserío del Henares" donde están los Huertos de Ocio. Existen colonias de cigüeña blanca en álamos blancos del Soto de Aldovea (40 parejas), eliminada en enero de 2006 por una tala ilegal de los árboles, y en torretas eléctricas del Caserío del Henares (23 parejas).

En el Soto de Aldovea hubo una colonia de martinete en un cañaveral en los años 2000-2002 con 15-20 parejas. Esta colonia desapareció como consecuencia de la quema del cañaveral. Crían el calamón, avetorillo, garza imperial, porrón común, bengalí rojo, cotorra de kramer y cotorrita gris. Hay presencia de bigotudo, garceta común, garza real y recientemente se ha visto morito. También es importante destacar la presencia de dormideros invernales de cormorán grande (122 individuos) y garcilla bueyera (700 individuos).

Principales Amenazas

La riqueza actual de aves del río Henares puede tener sus días contados. Numerosas actividades económicas (agrícolas, industriales y del sector servicios) están transformando profundamente y de manera acelerada los ambientes de vega. El enorme crecimiento económico y urbanístico de los municipios del Corredor del Henares, impulsados por la principal autopista del centro peninsular (Nacional II) y por la proximidad de la capital del Estado, es sólo un ejemplo de la seriedad de las amenazas.

Es un grupo variado y complejo de actividades interrelacionadas que además de incidir directamente de manera negativa sobre las aves, alteran, fragmentan y destruyen sus hábitats. Por ello, aunque la acción individual de cada actividad tuviese efectos relativamente leves (que no es el caso), la acción combinada de todas ellas amplifica sus efectos y se supera la capacidad de resistencia y recuperación de las especies. La alteración simultánea, aunque poco intensa, de las zonas de alimentación, descanso, refugio y desplazamiento dispersivo y migratorio acaba siendo letal para las aves.

A continuación describimos sucintamente los principales tipos de amenazas para las aves.

Urbanización:

La intensa actividad urbanística actual en todos los municipios del Corredor del río Henares compromete seriamente a todos los ecosistemas, incluidos los ecosistemas de vega. Precisamente los ambientes de vega, porque disponen de un microclima más favorable (por su mayor humedad ambiental) y de entornos agradables (por la proximidad del río y la existencia de retazos de vegetación natural), se utilizan de reclamos para la proliferación urbanística. Posteriormente el aumento de densidad de población aumenta los impactos sobre la vega y acelera su transformación hacia superficies ajardinadas para cubrir las necesidades de ocio y esparcimiento de la población recién instalada.

Recientemente se ha producido el crecimiento urbano de Guadalajara en la margen derecha y la proliferación industrial en Chiloeches en la margen izquierda. Hace unos años se edificaron el barrio de Nueva Alcalá y el centro comercial La Dehesa en Alcalá de Henares. Algunas instituciones públicas parece que proyectan urbanizar la Finca de El Encín en Alcalá, lo que dañará de manera irreparable una parte importante de la vega. Es difícil comprender que un proyecto tan drástico e impactante sobre una de las mejores zonas de vega del río Henares sea propiciado por entidades públicas en un

espacio protegido y un Lugar de Interés Comunitario (LIC). Es sintomático de que algo no funciona cuando las autoridades responsables de la conservación de los pocos lugares que nos quedan con una Naturaleza razonablemente conservada no actúen con celo impidiendo su degradación.

Construcción de infraestructuras de comunicación:

Relacionado directamente con el auge económico, industrial y urbanístico de la cuenca del Henares. Se está produciendo una notable proliferación de vías de comunicación (autopistas de peaje, circunvalaciones, carreteras comarcales, etc.) que cruzan el río. Además del impacto directo sobre los ecosistemas de la vega, facilitan el acceso a ambos lados de la ribera lo que aumenta la presión humana y las molestias a las zonas de cría y refugio. Es absolutamente necesario mantener el relativo aislamiento que todavía tienen amplias zonas situadas principalmente en la orilla izquierda (mirando aguas abajo) del río Henares. Ese aislamiento es la mejor garantía de su conservación.

Proliferación de tendidos eléctricos:

En el bajo Henares se extiende una profusa red de tendidos eléctricos, algunos de los cuales cruzan el río. Son una trampa mortal para muchas aves porque chocan con los cables o se electrocutan al posarse en determinadas torretas peligrosas. Estas últimas son debidas a que determinados diseños de aisladores no separan suficiente distancia las torretas de los cables conductores. La proximidad de los conductores favorece la electrocución de las aves que acuden a posarse a las torretas de metal.

Especies afectadas por colisiones o electrocuciones son, entre otras, el halcón peregrino, búho real y cigüeña blanca. Se podría solucionar, o al menos minimizar su impacto, señalizando visualmente los cables y modificando las torretas peligrosas. El trabajo es sencillo, pero requiere de cierta inversión económica. El crecimiento económico de la zona va a traer multitud de nuevos tendidos que empeorarán la situación.

Deforestación para aumentar la superficie agraria:

El fértil suelo de vega es deforestado y transformado en campos de cultivo intensivos. El bosque de ribera suele quedar reducido a una estrecha hilera de árboles a cada lado del río porque no se respeta la anchura legal correspondiente al dominio público hidráulico. Además de su impacto negativo sobre la flora y la fauna, el río queda desprotegido de la acción erosiva de las crecidas porque se ha perdido la sujeción que realizaban las raíces.

Uso indiscriminado de pesticidas en los campos de cultivo:

Relacionado, como el punto anterior, con la intensificación agraria. El enorme declive del halcón peregrino, que está casi extinguido en el valle del río Henares, ha sido causado parcialmente por pesticidas organoclorados como el DDT que se acumulan en los tejidos corporales de los halcones (en forma de DDE) a lo largo de su vida. Provocan problemas en la reproducción, como consecuencia de la reducción del grosor

de la cáscara de los huevos, fracasos en la incubación de los huevos, infertilidad y hasta la muerte de pollos y adultos. El DDT, a pesar de estar prohibido desde hace años, también se sigue usando en la vega del río Henares como lo han demostrado varios estudios, entre ellos el análisis de huevos infértiles de halcones y el análisis de suelos y agua del río.

Construcción de grandes embalses:

En la actualidad el río Henares está intensamente regulado por varias grandes presas situadas en sus ríos tributarios. El proyecto del nuevo embalse del Pozo de los Ramos en el río Sorbe, junto a Tamajón, amenaza con inundar un valle muy bien conservado e inaccesible debido a lo escarpado de sus orillas y laderas. Presenta bosques frondosos de encinas y robles, un río de aguas poco contaminadas, y paredes rocosas escarpadas donde hay varias colonias de buitre leonado y presencia de otras especies de aves amenazadas como el halcón peregrino, búho real, etc.

Proyectos de canalización del río:

Han existido diversos proyectos de la Confederación Hidrográfica del Tajo que prácticamente suponían la canalización del río a su paso por la ciudad Alcalá. Afortunadamente estos proyectos todavía no se han llevado a cabo pero la amenaza está ahí y en cualquier momento pueden promoverse proyectos similares. La limpieza y acondicionamiento de los ríos con fines sociales debe respetar las características de los ecosistemas de ribera y no provocar una transformación artificial que impacte drásticamente sobre sus valores naturales.

Proliferación de basuras en las orillas del río:

Afecta principalmente a las cercanías de ciudades como Mejorada del Campo, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares, Azuqueca de Henares y Guadalajara. La cantidad de basura aumenta cada año y está llegando a límites insostenibles en algunas zonas. La localización de áreas de recreo descontroladas o de grandes centros comerciales y de ocio en las proximidades del río también producen problemas graves aunque más locales. Es necesario mejorar la Educación Ambiental de los ciudadanos y asumir, mientras tanto, la limpieza de basuras de aquellas zonas de la ribera utilizadas para el recreo, como ya empiezan afortunadamente a hacer algunas Administraciones municipales. Es necesario hacer compatible el necesario disfrute humano de la vega con el mantenimiento de sus valores estéticos y naturales y sus condiciones de higiene.

La lista de amenazas es más numerosa, pudiendo añadir otras actividades de acción más local como la caza ilegal, expolio de nidos, explotación de áridos (arenas y gravas) en las orillas del río o sus proximidades, vertidos contaminantes urbanos e industriales, etc. Este tipo de acciones puntuales pero continuas son también importantes porque suman sus impactos e intensifican los llevados a cabo por el primer grupo de actividades comentado anteriormente, limitando las posibilidades futuras para la avifauna de la vega.

Medidas de Conservación

El cúmulo de realidades y amenazas descritas en el apartado anterior dibuja un futuro desesperanzador para las aves de la vega del Henares. Corremos un riesgo cierto de perder muchos de los valores naturales asociados a la ribera, entre ellos una avifauna abundante y variada. No tenemos derecho a despilfarrar un patrimonio natural que nos ha venido heredado, haciendo que las generaciones futuras no puedan disfrutar de una Naturaleza atractiva. Estamos inmersos en un proceso acelerado, desbocado, de consumo de recursos, entre ellos, el recurso espacio, llenando el territorio de urbanizaciones, polígonos industriales, infraestructuras, y nos estamos quedando sin espacios naturales relevantes. ¿Es que es tan difícil hacer compatible el necesario desarrollo económico y de la calidad de vida de la cuenca del Henares con mantener los espacios naturales mejor conservados? Resulta paradójico que, justo cuando más sabemos acerca de la Naturaleza que nos rodea y de su valor, más comprometido está el futuro de los espacios naturales relevantes; los cuales están avocados, en el mejor de los casos, a ser sustituidos por espacios naturales simplificados, excesivamente humanizados y ajardinados ¿Para qué nos están sirviendo los conocimientos que estamos adquiriendo acerca de la Naturaleza? ¿A que esperamos? ¿Es que el objetivo es rellenar todo el territorio disponible?

Con el objetivo de no perder algo que, en el fondo, todavía desconocemos, es necesario frenar el ritmo actual de degradación e incluso empezar a invertir el proceso. En este apartado proponemos una serie de medidas que mejorarían el estado de conservación del río y su calidad ambiental. Nuestras propuestas son:

Declaración de espacios protegidos y desarrollo de los instrumentos necesarios para hacer efectiva dicha protección:

Todos los enclaves de la vega del río Henares y tributarios que presenten un soto de ribera bien conservado deberían estar protegidos. Algunos ya lo están como el bajo Henares incluido dentro del Parque Regional del Sureste, a excepción de la finca Soto de Aldovea, con peligro de ser urbanizada. El tramo del río a su paso por el Encín tiene un régimen de protección preventiva desde el año 2000, pero sin ningún desarrollo de protección posterior. Debería declararse un Parque Natural y ampliar su superficie incluyendo el tramo de río hasta el puente de la Oruga por abajo y hasta el puente de Chiloeches por arriba, donde entrarían todos los cortados y zonas húmedas, especialmente la gravera de Miralcampo.

En la propuesta de LICs, la Comunidad de Madrid incluye todo su tramo de río Henares y de su afluente el río Torote. En Guadalajara se han propuesto como LICs las cabeceras de los afluentes de la margen izquierda y del propio río Henares aguas arriba del término municipal de Guadalajara. En el río Sorbe el LIC y ZEPA "Sierra de Ayllón" protege desde el nacimiento y toda su cabecera de afluentes hasta Beleña de Sorbe. En el río Bornoba el mismo LIC y ZEPA protege desde el nacimiento hasta la cola del embalse de Alcorlo. El LIC "Valle del Río Cañamares" protege un pequeño tramo de este río aguas abajo de la presa de Pálmaces. El LIC y ZEPA "Valle y Salinas del Río Salado" protege pequeños tramos de este río, como Huermeces del Cerro, Santamera y Riba de Santiuste. No entendemos como dejan sin proteger el tramo del río

Henares entre el límite provincial con Madrid y el término de Guadalajara, que incluye la gravera de Miralcampo y el soto y cortados de Miralcampo y Azuqueca, de gran valor ecológico, el tramo bajo de los afluentes del Henares o los cañizares del río Badiel. Esperamos que la Comisión Europea las designe a todas como Zonas Especiales de Conservación (ZECs).

Sin embargo, con la declaración de espacios protegidos no es suficiente. Es necesario dotarlos de Planes de Uso Gestión que impidan ejecutar proyectos que mermen el valor natural que sirvió para declararlos. Todos los espacios protegidos que afectan a la vega del río Henares carecen actualmente de dicha normativa y están a merced de todo tipo de iniciativas económicas propiciadas, en muchos casos, por la propia Administración.

Limpieza de basura en las márgenes del río:

Puntos negros destacados son la Gravera de Miralcampo, Tarayal junto al antiguo campo de tiro, Puente de Hierro, El Val. Además de las operaciones de limpieza que hay que llevar a cabo, es necesario hacer un mayor esfuerzo informativo mediante paneles y dotar a las áreas de recreo de suficientes contenedores para recoger la basura generada. En algunos puntos, será necesario cortar el acceso a los coches. La accesibilidad en coche facilita la afluencia masiva y la deposición de muchos desperdicios. Además, las operaciones de limpieza del soto deben ser muy respetuosas con los árboles viejos. Es un error eliminar de manera sistemática los árboles viejos de la ribera. Es necesario mantener cierta densidad de ejemplares total o parcialmente secos porque cumplen funciones ecológicas indispensables para la conservación de la fauna (Cuadro 5).

Cuadro 5. *Importancia de los árboles viejos.*

Como hemos señalado a lo largo de este capítulo, los árboles son indispensables para numerosas especies de aves. Suministran alimento, lugares de nidificación y posaderos que permiten el descanso, refugio o las relaciones sociales y el apareamiento. Estas funciones de los árboles no desaparecen cuando el árbol muere. En muchas ocasiones es todo lo contrario. Con la muerte están disponibles nuevos recursos tróficos, como la fauna xilófaga asociada a la madera en descomposición. También aumentan las posibilidades de creación de huecos que sirven de refugio para las aves y sus presas potenciales (nidos, madrigueras) porque la madera muerta es más fácil de taladrar y excavar. Además, se potencian los comportamientos de cortejo y apareamiento porque las ramas secas ofrecen atalayas despejadas donde las aves tienen más visibilidad y pueden exhibirse mejor. Por tanto, los árboles viejos y secos no deben verse como estructuras inertes, amenazantes o propagadoras de enfermedades. Son estructuras llenas de vida, con numerosos huecos y lugares abiertos donde posarse sin riesgo. Organizan un nuevo espacio aéreo y aumentan la superficie disponible para la búsqueda de alimento, lugares de nidificación y de contacto entre los individuos. Por ello, debe hacerse un esfuerzo por conservar árboles total o parcialmente secos en los bosques de ribera, acondicionándolos para evitar daños a personas o a sus pertenencias.

Evitar molestias en humedales, bosques de ribera bien conservados y zonas con escarpes y cortados:

La biodiversidad de la vega del río Henares adquiere dimensiones sorprendentes en aquellos puntos en los que aparecen juntos en un reducido espacio, humedales, bosques de ribera y zonas con escarpes y cortados. Son auténticos puntos calientes

("hotspots" en la literatura científica) de la vega debido a la heterogeneidad espacial que presentan. El trasiego humano en estas zonas puede afectar muy negativamente a su valor ecológico y a la tranquilidad y privacidad que necesitan las especies que crían allí. Se debe impedir las áreas de recreo, urbanización, etc., en los aledaños de todas estas zonas.

El actual proyecto de urbanizar la finca El Encín afectaría muy negativamente al bien conservado bosque del Soto del Encín, simplemente porque va a originar un trasiego humano no soportable por ese espacio. En algunas zonas húmedas de importancia, como la gravera de Miralcampo, es necesario cortar el paso a los coches para evitar un excesivo vertido de basuras y dar la tranquilidad necesaria para la reproducción de las especies acuáticas.

Corrección de torretas eléctricas y señalización de los cables de los tendidos eléctricos:

Con la declaración como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de todo el río Henares debería retomarse la corrección de torretas eléctricas peligrosas para convertirlas en torretas seguras sin riesgo de electrocución. Por otra parte, es necesario señalizar los cables para hacerlos más visibles para las aves y evitar colisiones que mutilan o matan a las aves. Especialmente peligrosos son los tendidos eléctricos que cruzan el río porque el propio río actúa como uno de los principales corredores de avifauna tanto de movimientos cotidianos como de grandes desplazamientos migratorios. Debemos evitar la instalación de ese tipo de tendidos porque la señalización de los cables no siempre es efectiva porque muchos desplazamientos de las aves se hacen por la noche y las aves chocan contra las propias señales.

Restauración de los ecosistemas de ribera, principalmente de los bosques:

Además de proteger lo poco que nos queda, es necesario abordar la restauración ecológica de algunos espacios. Especialmente, favorecer la recuperación de los bosques de ribera cien metros a cada lado del río, subvencionando el abandono del cultivo a los particulares y repoblando con especies autóctonas de árboles y arbustos de ribera. Conseguiríamos en unos años un pasillo verde de una biodiversidad y valor ecológico muy importante. En la finca de El Encín se está llevando a cabo desde hace diez años. Por sus características ecológicas (ecosistemas productivos, con abundante agua freática, etc), los ambientes de ribera son relativamente fáciles de restaurar, si los comparamos con los ecosistemas circundantes. Son ecosistemas agradecidos, que responden positivamente a pequeñas actividades de mejora.

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que directa o indirectamente han colaborado en este capítulo. De manera especial a Juan M. Varela por permitirnos utilizar sus dibujos de aves para elaborar varías figuras. A Jesús Puebla, Luis Mesonero y Marco Nieto que participaron en la elaboración de algunos textos. A Lorenzo Pérez Camacho que revisó una versión previa y aportó sugerencias que mejoraron el texto.

Bibliografía Recomendada

De la Puente, J., Bermejo, A. et al. (eds.). 1997-2005. Anuarios Ornitológicos de Madrid 1996-2004. SEO-Monticola. Madrid.

De la Puente, J. et al. 2003. La Estación de Anillamiento de las Minas (Parque Regional del Sureste, San Martín de la Vega, Madrid). Resultados del año 2002. G.O. Monticola y Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. Madrid.

Del Moral, J.C., Martí, R. 1996-2001. Seguimiento y Control de la Población de Halcón Común en la Comunidad de Madrid. Años 1996-2001. SEO-Birdlife. Informes inéditos para la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.

Del Moral, J.C., Martí, R. (eds.). 2001. El Buitre Leonado en la Península Ibérica. III Censo Nacional y I Censo Ibérico coordinado, 1999. Monografía nº 7. SEO-Birdlife. Madrid.

Del Moral, J.C., Martí, R. (eds.). 2002. El Alimoche Común en España y Portugal (I Censo Coordinado). Año 2000. Monografía nº 8. SEO-Birdlife. Madrid.

Fernández Layna, J., Prieto, J., Velasco, T. 2002. Aves Acuáticas reproductoras en los humedales de la provincia de Guadalajara. Año 2002. Consultores en Iniciativas Ambientales S.L. Informe inédito para la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Fernández, M. et al. 2000. Organochlorine and heavy metal residues in the water/sediment system of the Southeast Regional Park in Madrid. Spain. Chemosphere 40 : 801-812.

Martí, R., Del Moral, J.C. (eds.). 2003. Atlas de las Aves Reproductoras de España. Dirección General de la Conservación de la Naturaleza- Sociedad Española de Ornitología. Madrid.

Martínez, T., Elorrieta I. 1995. El Soto del Encín. Comunidad de Madrid.

Prieto, J. 1997. Capítulo V. La Fauna. En Martínez, V. et al: "El Medio Ambiente en Los Santos de la Humosa". Asoc. de Propietarios de Fincas Rústicas de los Santos de la Humosa.

Prieto, J., Herrera, J. 2000. Guía de Aves del Parque de los Cerros. Casa de Oficios Ambientales Parque de los Cerros. Ayuntamiento de Alcalá de Henares.

XI. EL RÍO HENARES Y SU RIBERA COMO HÁBITAT PARA LOS MAMÍFEROS

***Juan Herrero*[1,2,3], *Carlos Prada*[3], *Alicia García-Serrano*[3] y *Julio A. Camargo*[1]**

[1]Departamento de Ecología, Universidad de Alcalá
[2]Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC
[3]Ega, Consultores en Vida Silvestre, Zaragoza

Introducción

Los mamíferos son animales endotermos que se caracterizan por presentar el cuerpo recubierto de una cantidad variable de pelo, poseer glándulas mamarias para alimentar a los recién nacidos, tener una cavidad torácica y otra abdominal separadas por un diafragma musculoso, y poseer una mandíbula inferior constituida por un solo hueso que se articula directamente con el cráneo.

Esta clase de vertebrados evolucionó, hace al menos 190 millones de años, de un grupo de reptiles sinápsidos (los terápsidos) que poseían extremidades anteriores y posteriores de longitud similar (ausencia de bipedalismo) y presentaban una dentición compuesta por morfologías distintas. Aunque los mamíferos coexistieron con los dinosaurios durante un periodo de tiempo relativamente prolongado, parece que no pudieron experimentar una gran radiación adaptativa hasta que los dinosaurios finalmente se extinguieron, hace unos 65 millones de años, debido a varias causas ambientales (colisión de uno o varios asteroides, intensa actividad volcánica, significativo cambio climático, sustitución de gimnospermas por fanerógamas, competencia, depredación, parasitismo, etc.).

Actualmente se reconocen tres grandes grupos de mamíferos, los monotremas (ponen huevos), los marsupiales (vivíparos con marsupio) y los placentarios (vivíparos con placenta), siendo este último grupo el más diverso con más de 4.000 especies adaptadas a vivir en zonas ecológicas muy diferentes.

En ese sentido, los sotos o bosques de ribera han sido considerados desde siempre como zonas ecológicas de gran diversidad en donde una fauna variada encuentra el hábitat propicio para su supervivencia. De hecho, en muchos países desarrollados, los sotos constituyen ambientes habitualmente relictos y aislados, que suponen una isla de ambiente natural o seminatural, normalmente con elevada cobertura y estratificación vegetal, dentro de una gran matriz de terrenos agrícolas, pastorales e incluso industriales.

Bajo esas condiciones, distintas especies de mamíferos grandes (macro-), medianos (meso-) y pequeños (micro-) utilizan el bosque de ribera como refugio y área de alimentación, y en algunos casos también como zona de reproducción.

En este estudio preliminar sobre los mamíferos del río Henares y su ribera presentamos un listado de las especies presentes junto con algunas de sus características ecológicas, así como ciertas reflexiones y recomendaciones sobre la importancia de los sotos y el ecosistema fluvial para la conservación de las poblaciones de mamíferos.

Metodología

Se llevaron a cabo varias visitas de prospección con el objetivo de examinar el área de estudio y detectar la presencia de mamíferos. Además, se ha realizado una revisión bibliográfica de los inventarios existentes para este tipo de fauna, consultando el Atlas de los Mamíferos Terrestres de España, el Libro Rojo de los Vertebrados Ibéricos, la normativa estatal e internacional con respecto al estatuto de conservación de las especies, y los catálogos regionales de especies amenazadas de Comunidad de Madrid (CM) y de Castilla-La Mancha (CLM).

En total, seis órdenes de mamíferos parecen estar representados en el área de estudio: roedores, insectívoros, quirópteros, carnívoros, lagomorfos y artiodáctilos.

Roedores

Dentro de este orden de micromamíferos, nueve son las especies que se encuentran asociadas al río Henares y su ribera (Figura 1): rata de agua (*Arvicola sapidus*), rata parda (*Rattus norvegicus*), rata negra (*Rattus rattus*), ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), ratón moruno (*Mus spretus*), ratón casero (*Mus domesticus*), topillo campesino (*Microtus arvalis*), topillo mediterráneo (*Microtus duodecimcostatus*), y lirón careto (*Eliomys quercinus*).

La rata de agua (Foto 1) es una especie autóctona que consume principalmente tallos y hojas de plantas ribereñas como carrizos, espadañas y juncos. Suele excavar madrigueras en zonas de terreno blando y con poca pendiente. Sus mayores depredadores son las rapaces y los mamíferos carnívoros que habitan el bosque de ribera. Como consecuencia de la degradación antropogénica del hábitat fluvial y ribereño, las poblaciones de esta especie se encuentran en clara regresión.

La rata parda es originaria de China, habiendo sido introducida en Europa a comienzos del siglo XVIII. Es una especie omnívora y oportunista que, aunque típica y abundante en núcleos urbanos, ha sido detectada en zonas de ribera asociadas a ciudades como Guadalajara y Alcalá de Henares. Debido a que se desenvuelve relativamente bien en el medio acuático, puede llegar a desplazar a la rata de agua en ciertas situaciones.

La rata negra es una especie autóctona cuya distribución actual está condicionada en gran medida por la presencia de la rata parda, más grande y agresiva. También es una especie omnívora y oportunista. Sus principales depredadores son las rapaces y los mamíferos carnívoros que habitan el bosque de ribera.

El ratón de campo es una especie autóctona que se alimenta preferentemente de bayas, frutos y semillas, aunque también puede incluir en su dieta algún invertebrado. No gusta del agua, pero en el bosque de ribera puede encontrar refugio frente a un número variado de depredadores gracias a la buena cobertura y densidad arbustiva. Probablemente es el roedor más abundante a lo largo de la ribera del Henares.

El ratón moruno es una especie autóctona que, a pesar de sus escasos requerimientos hídricos, puede habitar el bosque de ribera donde encuentra refugio frente a los depredadores. Su dieta es muy variada y está claramente condicionada por la disponibilidad de alimentos.

El ratón casero es una especie autóctona cuya presencia depende en gran medida de los asentamientos humanos a lo largo de la vega del río Henares. Aunque preferentemente granívora, su alimentación puede ser variada como consecuencia de la disponibilidad de alimentos. Puede ser muy abundante, constituyendo plagas de la agricultura y los productos almacenados.

El topillo campesino es una especie autóctona que en la zona de la ribera encuentra refugio frente a sus depredadores, como la lechuza común y la comadreja, gracias a la cobertura vegetal. Es un herbívoro estricto con una marcada preferencia por las dicotiledóneas. Cada tres o cuatro años sus poblaciones suelen experimentar explosiones demográficas que pueden ocasionar graves daños a los cultivos agrícolas.

El topillo mediterráneo es una especie típicamente ibérica (aunque también aparece en el sureste de Francia) que se alimenta de bulbos, tubérculos, raíces, tallos y frutos. Gusta de suelos estables y húmedos, con abundante cobertura vegetal, donde excava sus galerías subterráneas. A diferencia del topillo campesino, sus poblaciones no suelen experimentar explosiones demográficas periódicas. No se considera una especie amenazada

El lirón careto es una especie autóctona y generalista, tanto por su hábitat (terrestre, arbóreo) como por su alimentación (frutos, semillas, miel, huevos, artrópodos, pequeños vertebrados). No obstante, debido a la degradación antropogénica del hábitat fluvial y ribereño, sus poblaciones pueden encontrarse en clara regresión.

Insectívoros

Dentro de este orden, cuatro son las especies que pueden encontrarse asociadas al río Henares y su ribera (Figura 1): erizo europeo (*Erinaceus europaeus*), musaraña gris (*Crocidura russula*), musgaño de Cabrera (*Neomys anomalus*), y topo ibérico (*Talpa occidentalis*).

El erizo europeo es una especie autóctona que se alimenta principalmente de invertebrados como insectos, lombrices, babosas y caracoles. Aunque no es su hábitat preferente, puede encontrar refugio en el bosque de ribera. El factor principal de amenaza para sus poblaciones parece ser los atropellos causados por el tráfico rodado.

La musaraña gris es una especie autóctona cuya dieta está constituida preferentemente por pequeños invertebrados como caracoles, babosas, isópodos, arácnidos, miriápodos e insectos. Similarmente al erizo europeo, prefiere terrenos más abiertos, pero encuentra refugio en el bosque de ribera, sobre todo en zonas de sotobosque claro.

El musgaño de Cabrera es una especie autóctona cuya alimentación consiste fundamentalmente en invertebrados, tanto dulceacuícolas como terrestres. Se desenvuelve bien dentro del agua y fuera de ella. No obstante, debido a la degradación antropogénica del hábitat fluvial y ribereño, es muy probable que sus poblaciones hayan experimentado una regresión significativa.

El topo ibérico es una especie endémica de la Península Ibérica que se alimenta de invertebrados terrestres como anélidos, moluscos, insectos y otros artrópodos. Gusta de suelos blandos pero estables, y con abundancia de presas, donde puede excavar sus galerías subterráneas y encontrar alimento. Aparentemente no se considera una especie amenazada.

Quirópteros

Dentro de este orden de mamíferos voladores, seis son las especies que se encuentran asociadas al río Henares y su ribera (Figura 1): murciélago grande de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*), murciélago mediterráneo de herradura (*Rhinolophus euryale*), murciélago ratonero grande (*Myotis myotis*), murciélago ratonero ribereño (*Myotis daubentonii*), murciélago orejudo gris (*Plecotus austriacus*), y murciélago enano (*Pipistrellus pipistrellus*).

Todas estas especies de quirópteros son autóctonas y se alimentan de insectos como lepidópteros, dípteros, coleópteros, tricópteros, plecópteros y neurópteros. Buscan refugio en huecos de árboles, grietas y cavidades de diferente índole. Sin embargo, como consecuencia de la destrucción de su hábitat natural, sus poblaciones pueden encontrarse en franca regresión.

Carnívoros

Las especies de este orden se caracterizan por ser depredadores especializados u oportunistas de otros animales (vertebrados, principalmente), aunque también consumen carroña, frutos, insectos y basuras. Presentan potencialmente el mayor número de especies en el área de estudio, con nueve autóctonas y una introducida (Figura 1).

La familia de los mustélidos posee en la zona cinco especies con toda seguridad y otra que podría colonizarla en un futuro próximo. Las especies terrestres son la comadreja (*Mustela nivalis*), la garduña (*Martes foina*) y el tejón (*Meles meles*).

Tanto la comadreja como la garduña no han podido ser detectadas con los rastreos de la ribera, aunque aparentemente se distribuyen de forma constante por el cauce principal del río Henares. El tejón se ha detectado en la desembocadura del Henares y su distribución alcanza también todo el cauce. Estos mustélidos terrestres son considerados "de interés especial" en CLM, por lo que deberían tener su respectivo Plan de Manejo en aplicación de la Ley 4/89.

En cuanto a los mustélidos semiacuáticos, la nutria paleártica (*Lutra lutra*) ha sido observada a lo largo del río Henares en su recorrido alcarreño (Foto 2), y el turón (*Mustela putorius*) está presente tanto en el tramo alto como en el tramo bajo, sin que tengamos información sobre su presencia en zonas intermedias. Falta por el momento el visón americano (*Mustela vison*), especie introducida y en expansión, cuya presencia quizá se haya producido ya o se produzca en los próximos años.

La nutria es una especie "en peligro de extinción" en CM y "vulnerable" en CLM por lo que les corresponde la promulgación de un Plan de Recuperación y otro Plan de Conservación respectivamente.

La otra familia de carnívoros en importancia son los cánidos, representados por el zorro rojo (*Vulpes vulpes*) y el lobo (*Canis lupus*). El primero es una especie cinegética de amplia distribución y densidad, y el segundo comienza su lenta recuperación a lo largo del Sistema Central con presencia esporádica de individuos en la zona (Sigüenza, Julio Ramos, comunicación personal).

El lobo es especie considerada "en vías de extinción" en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha, por lo que le corresponderá la promulgación de un Plan de Recuperación en la región.

Otra presencia notable es la del gato montés (*Felis silvestris*). Si bien en la Península Ibérica sus poblaciones parecen en franca recuperación, en los últimos años sigue siendo una especie merecedora de elevados niveles de protección que han llevado a considerarla en el anejo 4 de Directiva de Hábitats y el anejo 2 del Convenio de Berna (especies estrictamente protegidas) así como en el anejo 2 del Reglamento CITES comunitario que regula el comercio exterior de fauna y flora. En CM es especie "de interés especial" y le corresponde un Plan de Manejo.

Por último, entre los carnívoros detectados, está la gineta (*Genetta genetta*). Esta especie se encuentra potencialmente a lo largo del curso fluvial y ligada a los sotos de un cierto tamaño. Es "de interés especial" en CLM.

Lagomorfos

Son herbívoros que consumen preferentemente gramíneas, leguminosas y otras plantas herbáceas. En el área de estudio, este orden se encuentra representado por solo dos especies (Figura 1): el conejo de monte (*Oryctolagus cuniculus*) y la liebre ibérica (*Lepus granatensis*).

Ambas son especies endémicas, de alto valor cinegético, y con una amplia distribución por toda la Península Ibérica. No obstante, debido a un exceso de caza y a la mixomatosis (conejo), sus poblaciones han disminuido o desaparecido en muchos lugares. Aunque propias de ambientes más abiertos, como todo el orden taxonómico, pueden encontrarse individuos asociados al bosque de ribera del río Henares, sobre todo en el curso bajo donde encuentran un terreno extenso y propicio para excavar sus madrigueras.

Artiodáctilos

Dentro de este orden de macro-mamíferos podemos encontrar el jabalí (*Sus scrofa*) y el corzo (*Capreolus capreolus*). Ambas especies son autóctonas y parece que están en plena expansión por toda Europa.

El corzo es bastante selectivo en sus hábitos alimentarios, prefiriendo materia vegetal con alto valor nutritivo y bajo contenido en fibra. Por contra, el jabalí es omnívoro, consumiendo materia vegetal de índole variada y además materia animal. Son particularmente frecuentes en las áreas mejor conservadas del curso medio del río Henares (Figura 1), con abundante cobertura forestal en las inmediaciones del cauce fluvial (carrascales y quejigares).

No obstante, el jabalí se extiende a lo largo de todo el trazado del río causando daños significativos en algunas zonas agrícolas.

Discusión

En conjunto, los mamíferos del río Henares y su ribera constituyen una comunidad rica y diversa (Figura 1), formada por una gran parte de las especies potenciales actuales, a pesar de los elevados niveles de transformación del ambiente circundante, fragmentación de los sotos, degradación general de las riberas, y contaminación de las aguas.

En la Figura 1 se puede observar como la cabecera y los tramos bajos del río Henares presentan cuadrículas con un elevado número de especies, aunque la composición específica varía entre cuadrículas.

Mientras que en el tramo alto aparecen especies con unos requerimientos de hábitat más específicos como la nutria, el lobo o el gato montés, en las partes bajas

tienen presencia mamíferos, como roedores, lagomorfos, el zorro y la garduña, que están mejor adaptados a los ambientes humanizados.

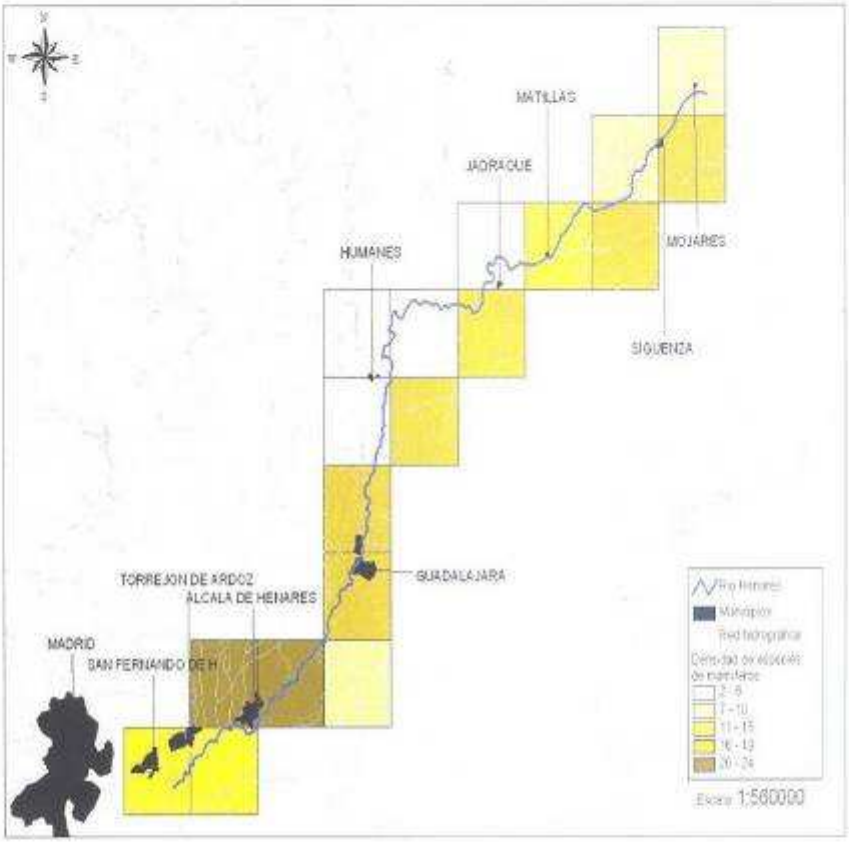

Figura 1. *Densidad de especies de mamíferos a lo largo del cauce principal del río Henares, según datos de presencia/ausencia sobre cuadrículas de 10 km² muestreadas para realizar el Atlas de los Mamíferos Terrestres de España.*

Los próximos años serán testigos de la expansión de algunas especies no residentes (ciervo, muflón, cabra montesa), de la mayor presencia de otras (lobo) y de la comprobación de la existencia de nuevas (visón americano).

Para la valoración del río Henares y su ribera como hábitat para los mamíferos es necesario considerar también los ecosistemas circundantes. En este sentido los pequeños sotos relictos del curso bajo, rodeados de matriz agrícola en áreas de elevada densidad humana, con baja o nula conexión con otros ambientes similares, cobran un interés particular pues son los únicos de vegetación natural y seminatural, constituyendo una verdadera isla de refugio para la fauna de la zona.

No obstante, en las zonas mejor conservadas del curso medio, en contacto con ecosistemas forestales en buen estado de conservación, el papel de refugio de los sotos se encuentra bastante relativizado.

Resulta paradójico, por ejemplo, la presencia del tejón en un ambiente tan degradado como la desembocadura del Henares, donde el soto además está aislado de otras formaciones forestales.

Esas zonas acogen una importante actividad recreativa y humana en general: caza, furtivismo, lavado de vehículos, vertido de escombros, recolecciones diversas, etc.

Mención aparte merece la contaminación agrícola e industrial del cauce fluvial que probablemente justifica la ausencia de la nutria en el tramo madrileño del Henares.

Los usos humanos de las riberas adyacentes son importantes a lo largo de todo el trazado. El uso ganadero sigue siendo relevante sobre todo en los tramos medio y alto.

Sin embargo, la existencia de especies comedoras de pasto (ovejas y vacas) hace que su impacto sobre el sotobosque sea escaso y más que centrado en el efecto sobre la vegetación a partir del ramoneo, puede resultar más bien derivado de la deposición de heces, con el consiguiente riesgo de un proceso de eutrofización, al menos localmente.

La agricultura circundante, sobre todo la de regadío, mucho más productiva, implica para algunas de las especies (jabalí, tejón, ratones) una fuente casi inagotable de alimento y en las épocas en que la mies está crecida, una multiplicación importante de las áreas de refugio.

Otra fuente importante de recursos son las basuras de las que se benefician todos los carnívoros, particularmente los más antropófilos como el zorro.

Conclusiones y Medidas de Conservación

Aunque el río Henares y su ribera engloban una representación significativa de la fauna de mamíferos dentro de la cual estarían al menos incluidas 32 especies autóctonas, que suponen la gran mayoría de las especies potenciales, la densidad poblacional de estas especies no parece ser elevada, experimentando en la mayoría de los casos un proceso de disminución.

Por todo ello existe la necesidad de conservar y restaurar el hábitat fluvial y el bosque de ribera para mantener y recuperar las poblaciones de esas especies, sobre todo del lobo, el gato montés, la nutria, el turón, la rata de agua, el musgaño de Cabrera, y el murciélago ratonero ribereño.

El papel que juegan los sotos relictos del tramo bajo parece particularmente relevante dado su aislamiento, pequeño tamaño y papel de refugio para los mamíferos en un ambiente que se encuentra particularmente degradado.

Por otra parte, el tramo medio posee áreas bien conservadas donde si bien el rio y su entorno dejan de tener particular importancia dado el elevado nivel de conservación del entorno, existen especies relevantes como el gato montés.

La contaminación de las aguas y la destrucción de la vegetación ribereña son causas antropogénicas que inciden negativamente y en mayor medida sobre los mamíferos semiacuáticos como la nutria, la rata de agua y el musgaño de cabrera.

Los carnívoros como la nutria pueden ser afectados además por disminuciones significativas en las poblaciones de sus presas.

En conjunto, podemos concluir que es fundamental recuperar la vegetación ribereña, así como depurar adecuadamente todas las aguas residuales.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado principalmente gracias al proyecto "análisis integrado de los ecosistemas representativos de la cuenca del río Henares: bases para una planificación con criterios ambientales" de la Universidad de Alcalá, el cual posibilitó las visitas de prospección a lo largo de la ribera del río Henares.

Bibliografía Recomendada

Bennett, A.F. 1990. Habitat corridors and the conservation of small mammals in a fragmented forest environment. Land. Ecol., 4: 109-122.

Blas Aritio L. 1970. Vida y Costumbres de los Mustélidos Españoles. SNPCCPN, Madrid.

Blanco J.C., González, J.L. 1992. Libro Rojo de los Vertebrados de España. ICONA, Colección Técnica, Madrid, España.

Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Soberón, J., Salazar, I., Fay, J.P. 2005. Global mammal conservation: what must we manage? Science, 309: 603-607.

Decreto 33/1998, de 05-05-98, por el que se crea el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha. DOCM nº 22, 15 de mayo de 1998, páginas de 3391 a 3397.

Decreto 18/92, de 26 de marzo, por el que se aprueba el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de fauna y flora silvestres y se crea la categoría de árboles singulares. BOCM nº 85, 9 de abril de 1992, páginas de 5 a 11.

Delibes, M. 1990. La Nutria (*Lutra lutra*) en España. ICONA, Colección Técnica, Madrid, España.

MacDonald, D.W., Barrett, P. 2002. Mammals of Europe. Princeton University Press, Princeton.

Palomo, L.J., Gisbert, J. (eds.). 2002. Atlas de los Mamíferos Terrestres de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza - SECEMU, Madrid, España.

Foto 1. *Rata de agua en su hábitat ribereño (foto Javier Ara).*

Foto 2. *Nutria en el medio acuático (foto Javier Ara).*

LOS AUTORES

Dr. EDUARDO ACASO DELTELL
Profesor Titular en el Departamento de Geología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
eduardo.acaso@uah.es

Dr. ÁLVARO ALONSO FERNÁNDEZ
Investigador Contratado en el Laboratorio de Ecotoxicología
Departamento de Medio Ambiente, INIA, 28040 Madrid
aafernandez@inia.es

Dr. JULIO ÁLVAREZ JIMÉNEZ
Profesor Titular en el Departamento de Biología Vegetal
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
julioaj@uah.es

Dra. MERCEDES ARAUZO SÁNCHEZ
Investigadora Titular en el Departamento de Contaminación Ambiental
Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, 28006 Madrid
mercedes.arauzo@ccma.csic.es

Dra. CARMEN BARTOLOMÉ ESTEBAN
Profesora Titular en el Departamento de Biología Vegetal
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
carmen.bartolome@uah.es

Dr. JULIO A. CAMARGO BENJUMEDA
Profesor Titular en el Departamento de Ecología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
julio.camargo@uah.es

Lcdo. GUSTAVO DÍAZ SANTIAGO
Becario Predoctoral en el Departamento de Biología Vegetal
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
gustavo.diaz@uah.es

Dra. LUISA M. DÍAZ ARANDA
Profesora Titular en el Departamento de Zoología y Antropología Física
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
Luisam.diaz@uah.es

Lcda. ALICIA GARCÍA SERRANO
Consultora Especializada de "Ega, Consultores en Vida Silvestre"
C/ Sierra de Vicort 31, 1º A, 50003 Zaragoza
egasl@arrakis.es

Dr. JUAN HERRERO CORTES
Profesor Asociado en el Departamento de Ecología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
juan.herrero@uah.es

Dr. MIGUEL MARTÍN-LOECHES GARRIDO
Profesor Titular en el Departamento de Geología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid).
miguel.martín@uah.es

Lcdo. JUAN J. MARTÍNEZ BASTIDA
Becario Predoctoral en el Departamento de Contaminación Ambiental
Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano 115 dpdo., 28006 Madrid
martínez.bastida@ccma.csic.es

Dra. Mª EUGENIA MOYA PALOMARES
Profesora Ayudante en el Departamento de Geología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
eugenia.moya@uah.es

Lcdo. CARLOS PRADA FERNÁNDEZ
Consultor Especializado de "Ega, Consultores en Vida Silvestre"
C/ Sierra de Vicort 31, 1º A, 50003 Zaragoza
carlosprada@inicia.es

Lcdo. JUAN PRIETO MARTÍN
Biólogo y Consultor Especializado
C/ Juan de Borgoña 6, 28805 Alcalá de Henares (Madrid)
juanprietomartin@yahoo.es

Lcdo. MARCOS DE LA PUENTE NILSSON
Consultor Especializado de "Liquen, Consultoría Ambiental"
C/ Capitán Haya 22, 8º D, 28020 Madrid
mpuente@liquen.es

Dr. SALVADOR REBOLLO DE LA TORRE
Profesor Titular en el Departamento de Ecología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
salvador.rebollo@uah.es

Dr. LUÍS F. REBOLLO FERREIRO
Profesor Titular en el Departamento de Geología
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
luis.rebollo@uah.es

Dr. F. JAVIER REJOS BALLESTEROS
Conservador del Herbario en el Departamento de Biología Vegetal
Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)
fjavier.rejos@uah.es

Dra. MARÍA VALLADOLID MARTÍN
Investigadora Titular en el Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva
Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, 28006 Madrid
marval@mncn.csic.es