

# Estudio de ecosistemas acuáticos en la región de Madrid

Leticia Arribas, Roberto Carranza, Silvia García, Daniel A. Leal.

Limnología curso 2011-2012.  
Universidad Autónoma de Madrid.

---

## Resumen

El objetivo principal de este estudio es comprender el funcionamiento general y estructura de los ecosistemas acuáticos y de las comunidades que albergan. Se compara el funcionamiento y estructura general de sistemas lénticos, localizados en distintas condiciones ambientales, y de sistemas lóticos, el tramo alto y tramo bajo del río Jarama y tramo alto del Manzanares.

---

## Introducción

Además de un recurso indispensable para el ser humano, el agua es una parte muy importante del medio natural. Más del 70% (de la cual el 97% es agua salada y el 3% agua dulce) de la superficie terrestre está ocupada por la hidrosfera, de cuya existencia dependen la vida y la morfología de la Tierra.

Ríos, lagos, humedales, aguas subterráneas, mares y océanos son receptores de las actividades del ser humano y quedan afectados por alteraciones en sus condiciones naturales. Las consecuencias son la pérdida de su calidad natural y, por tanto, la disminución del agua como recurso. (Calvo et al. 2004).

Para la gestión sostenible de este recurso surgió la creación de la Directiva Marco por la Unión Europea (2000/60/CE), que tiene como objetivo la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, así como proteger estas superficies acuáticas tanto por la acción de la naturaleza como por el hombre. Su cumplimiento implica controles periódicos de la calidad de los sistemas acuáticos y su estado ecológico, basados tanto en parámetros físico-químicos como biológicos ([www.directivamarco.es](http://www.directivamarco.es)).

Llevar a cabo este tipo de gestión en una región como la Comunidad de Madrid, con aproximadamente cinco millones de habitantes, es un desafío para integrar las necesidades humanas con la calidad del agua y los ecosistemas de los que forman parte.

Las principales amenazas que sufren los ríos de Madrid son la presión ganadera y turística en los tramos altos, añadiendo además la presión urbanística, los embalses, el empleo de fertilizantes y fitosanitarios para la agricultura, los vertidos y la extracción de áridos en los tramos medios y bajos (Plataforma Jarama Vivo, 2001).

La Comunidad de Madrid se encuentra en la cuenca hidrográfica del Tajo, que se sitúa en la zona central de la Península Ibérica, limitado por la Cordillera Central al norte, la Ibérica al este y los Montes de Toledo al sur (Fig. 1). La demarcación del Tajo se encuentra en un área caracterizada por un clima mediterráneo marcadamente continental, con las particularidades comarcales lógicas creadas por la altitud, la latitud y la mayor o menor distancia al océano Atlántico. En cuanto a las temperaturas, el rasgo más característico es su variación estacional, con veranos secos y calurosos, e inviernos fríos. La cuenca tiene una pluviometría media de 648 mm (1940-2006), distribuyéndose de manera estacional (con máximos en primavera y otoño) y con una marcada distribución en función de la altitud ([www.chtajo.es](http://www.chtajo.es)).

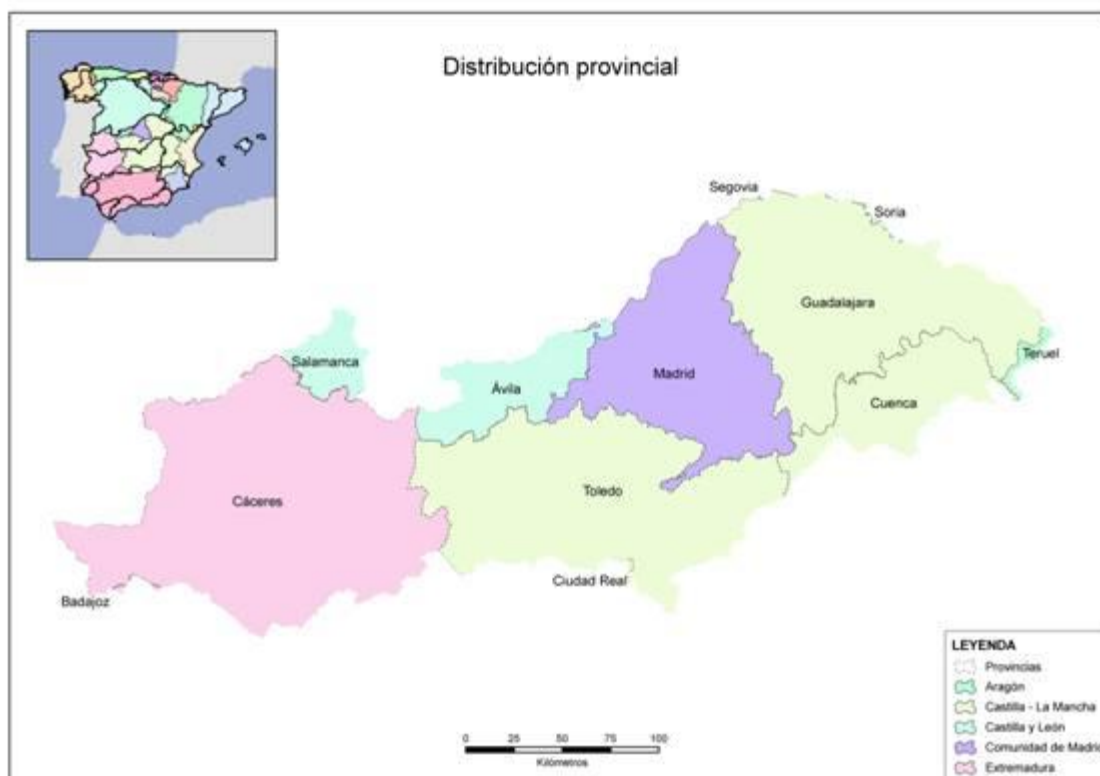
Uno de los afluentes más importantes del Tajo es el río Jarama. A él vierten sus aguas la mayoría de los ríos y arroyos que nacen en la vertiente sur de las sierras de Guadarrama y Ayllón, entre los que destacan los ríos Lozoya, Guadalix y Manzanares.

El río Manzanares nace en el ventisquero de la Condesa, desde donde desciende a través de las rocas graníticas de La Pedriza hasta Manzanares el Real. Allí es retenido por el embalse de Santillana, al igual que su afluente el arroyo Mediano. El embalse de Santillana tiene una elevada relación superficie-volumen, lo que supone un mayor riesgo de eutrofización (Izco, 1984).

El río Jarama, en su tramo alto, atraviesa litologías ácidas. Este tramo corresponde al piso supramediterráneo, encuadrado en la provincia corológica Carpetano-Ibérico-Leonesa. Posteriormente circula sobre terrenos calcáreos y afloramientos yesíferos hasta llegar a Aranjuez, donde vierte sus aguas al Tajo. Durante este recorrido atraviesa la provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega en el piso mesomediterráneo (Roblas y García-Avilés, 1997)

La excesiva extracción de áridos en el Parque Regional del Sureste destinados a la construcción ha dado lugar a medios lacustres como las lagunas de El Campillo o El Raso.

El objetivo principal de este estudio es comprender el funcionamiento general y la estructura de los ecosistemas acuáticos y de las comunidades que albergan. Se ha realizado un estudio limnológico de los ríos Manzanares, el arroyo Mediano y Jarama, así como el embalse de Santillana y las lagunas de El Campillo y El Raso. Se han comparado entre sí los sistemas lóticos y las dos lagunas. Para ello se han determinado las características del territorio de la cuenca, recolectado muestras de fitoplancton, zooplancton, meiobentos y macroinvertebrados y se han medido ciertas variables físico-químicas de dichos ecosistemas acuáticos de la región de Madrid. Además estos resultados se han integrado en varios índices de calidad para conocer el estado y la calidad del agua y vegetación de ribera.



**Fig. 1.** Distribución provincial de la cuenca hidrográfica del río Tajo (www.chtajo.es)

## Materiales y métodos

Se va a comparar el funcionamiento y estructura general de sistemas lénticos, localizados en distintas condiciones ambientales, y de sistemas lóticos, el tramo alto y tramo bajo del río Jarama y tramo alto del Manzanares.

Los muestreos se llevaron a cabo el 30 de septiembre y el 7 de octubre de 2012 en los siguientes sistemas acuáticos de la Comunidad de Madrid.

### **Área de estudio.**

El embalse de Santillana está situado en la cuenca natural del Tajo, ubicada al pie de la Pedriza. Su superficie en su punto máximo es de 1.052 Ha y cuenta con unos 30 km de ribera. Constituye el hábitat de una gran número de especies de aves acuáticas; en la época en que se realizó el estudio se pueden encontrar zampullines, ánsares, cormoranes, gaviotas o cigüeñas (www.moralzarzal.es). A día 30 de septiembre de 2011 el volumen del embalse era de 66.76 hm<sup>3</sup> y estaba al 73,3 % de su capacidad (http://sig.marm.es/saih).

El Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares se creó en 1985, pero en 1930 ya fue declarada Sitio de Interés Nacional (www.madrid.org). Tiene 52.769 ha y se extiende desde El Pardo hasta la Cuerda Larga del Guadarrama.

La Pedriza es un paraje donde destaca el relieve geomorfológico granítico. En el entorno de Canto Cochino se encuentra la cuenca alta del río Manzanares. Este río nace en las cumbres de la Sierra de Guadarrama (2.160 m) y las aguas proceden del deshielo ([www.manzanareselreal.org](http://www.manzanareselreal.org)).

La cuenca del río Jarama tiene una extensión de 5.047 km<sup>2</sup>. Nace en la sierra de Ayllón, a más de 2.000m de altura (Suárez *et al.*, 1993). El estudio del tramo alto se ha hecho en El Espartal. Las amenazas más importantes para esta zona son el ramoneo de la vegetación riparia así como la invasión de las riberas por vallados, y los vertidos fecales sin depurar de los pueblos ribereños. Aún así, en esta zona el río aún discurre limpio. A partir de aquí empieza a recibir algunos vertidos y se convierte en un río muy contaminado. La zona de estudio del tramo bajo se encuentra en San Martín de la Vega. El caudal aumenta por el agua que le aportan sus principales afluentes, los ríos Henares, Manzanares y Tajuña, y por los colectores de desagüe en las poblaciones. Algunas especies vegetales que se encuentran son *Populus alba* y *P. nigra*, *Salix alba*, y *Tamarix gallica*.

Las Lagunas de Velilla de San Antonio son un conjunto de lagunas artificiales originadas a partir de graveras. El estudio se realizó en "El Raso", situada junto al polígono industrial de San Antonio. La lámina de agua es de unas 9 ha, con una longitud máxima de 680 m y anchura de 230 m. La presencia de aves acuáticas es escasa frente a la gran variedad de peces, la mayoría especies invasoras introducidas por pescadores. La laguna cuenta con un rebosadero al río.

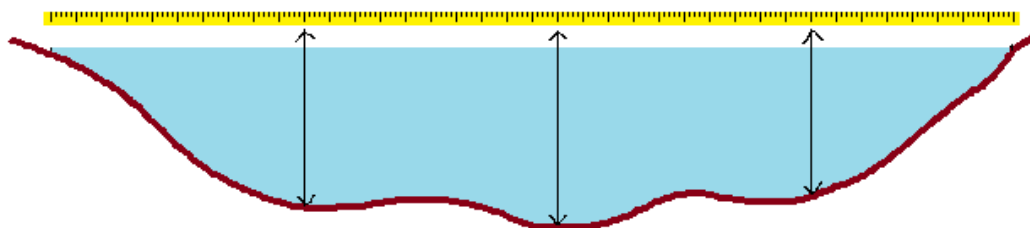
La Laguna de El Campillo tiene una extensión de 32 ha, se encuentra próxima al río y su profundidad es de más de 16 m (Cobelas *et al.*, 2000). Esta laguna se formó por extracción de áridos pero ha sido restaurada.

### **Análisis del medio físico. Cuenca, red de drenaje y caudales.**

A partir de mapas topográficos, se determinó el perfil longitudinal y orden de los cauces, mediante el método Strahler (1982), del río Manzanares y arroyo Mediano. A partir del perfil longitudinal del cauce se pudo calcular la pendiente media del cauce (Pe), utilizando la altitud máxima (Hmax), la altitud mínima (Hmin) y la longitud del cauce (L) con la siguiente relación:  $Pe = (Hmax - Hmin) / L$ . A partir del orden de los cauces se obtiene la relación de bifurcación (Rb):  $Rb = Nu / Nu + 1$ , siendo (Nu) el número de cauces de un orden determinado y (Nu+1) el número del orden inmediatamente superior. Se midió el área de la cuenca (con un planímetro) y la longitud de la cuenca, además de la longitud del río con un curvímetro. Se calculó el Factor de forma (F) a partir del área (A) y la longitud de la cuenca (LA):  $F = A / LA^2$ . Se utilizó en método racional para calcular el caudal máximo o de avenida (Q):  $Q = C.I.A$ , siendo (C) el coeficiente de escorrentía, (I) la intensidad de la precipitación y (A) el área de la cuenca.

### Variables físico-químicas y caudales.

Se midieron diferentes variables físico-químicas (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad) tanto en los sistemas lóticos como en los leníticos, utilizando para ello peachímetro, oxímetro y conductivímetro. En los sistemas lóticos además se midió el caudal con un caudalímetro. Para realizar un perfil del lecho se toman medidas de la profundidad del río cada 50 cm a lo ancho de éste con la ayuda de una cinta métrica (Fig. 2)



**Fig. 2.** Esquema del lecho de un río con la metodología para estimar los caudales

### Análisis de flora y fauna.

Se llevó a cabo una recolección de macroinvertebrados bentónicos en los sistemas lóticos. Se realizó mediante una manga de muestreo manual; se removió el sedimento mientras se caminaba a contracorriente, con el fin de recoger con la manga los organismos resuspendidos. Se calculó el área muestreada mediante estimación de la longitud del tramo y el tiempo empleado en el muestreo.

Los organismos se fijaron con etanol al 70% y glicerina. Además, tanto en sistemas lóticos como leníticos, se recogieron muestras de microorganismos integrados en toda la columna de agua, utilizando mangas con redes de distinta luz de malla según la muestra que se quería recolectar. Para tomar muestras de zooplancton y meiobentos se utilizó una malla de arrastre, también llamada manga o red de plancton, y un frasco de cristal donde verter el contenido del filtro de la manga. Para la recolección de los organismos se utilizó un filtro del tamaño de unas 20  $\mu\text{m}$  de luz de malla, pero la forma de recolectarlo es diferente a la del fitoplancton (Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses). Este se suele acumular en la capa superficial para realizar la fotosíntesis, mientras que el zooplancton está en movimiento y durante el día en la parte más profunda para evitar las fuertes radiaciones solares. En el laboratorio, se procedió al lavado de la muestra de invertebrados bentónicos mediante una columna de tamices y su clasificación. Para la identificación de las muestras de zooplancton, meiobento y fitoplancton se tomaron unas gotas del fondo de los botes con cuidado de no removerla y se observó al microscopio y a la lupa.

### **Índices de calidad.**

Para calcular los índices de calidad de las aguas se observaron las características visuales y vegetación de los sistemas lóticos y se anotaron en unos estadillos. Los índices que se estudiaron fueron los siguientes:

-IBMWP. (Alba-Tercedor & Sánchez Ortega, 1988). Valora la calidad biológica del agua, basándose en la diversidad de familias de macroinvertebrados y su sensibilidad a la contaminación. Este índice se calcula a partir de los taxones que se encuentran en el río. A cada taxón se le asigna un valor en función de la sensibilidad que posea a la contaminación. La suma de estos valores obtenidos será el resultado del índice y nos indicará el grado de contaminación del agua.

-QBR (Solà & Prat, 1998). Valora la calidad y conservación de la vegetación de ribera mediante la cobertura total, estructura, complejidad y grado de alteración del canal fluvial en una escala de 0 a 100, comparando así el cauce que se quiere estudiar con un cauce patrón que no tendría perturbaciones más allá de las naturales. Se escogió un tramo de 100 m de longitud aguas arriba del muestreo, preferiblemente lejos del camino o puente desde el que se accede al río para evitar una mayor perturbación.

-IHF (Pardos *et al.*, 2002). Valora la heterogeneidad del hábitat fluvial y su capacidad para albergar determinada fauna, valorando aspectos físicos que capaciten la existencia de estos hábitats así como también la existencia de elementos que faciliten la heterogeneidad o diversidad de estos.

Este índice consta de siete apartados independientes (inclusión de rápidos y sedimentación en charcas, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, regímenes de velocidad/profundidad, porcentaje de sombra en el lecho, elementos de heterogeneidad y cobertura de vegetación acuática) cuya suma de sus valores resultantes darán el valor total del índice que como máximo dará 100.

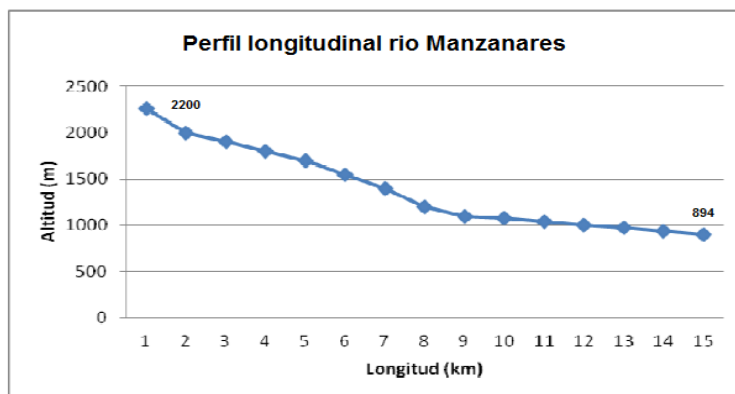
## **Resultados**

### **Análisis del medio físico. Cuenca, red de drenaje y caudales.**

#### **Indices o variables morfométricas lineales:**

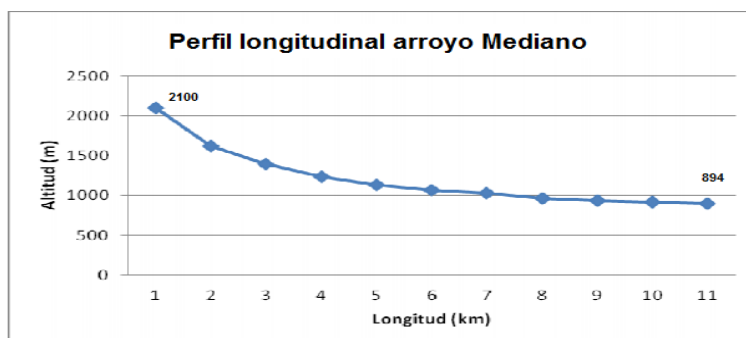
El río Manzanares nace en la Pedriza a unos 2200m de altitud. Recorriendo más de 100 km antes de desembocar en el río Jarama. Su cauce se embalsa primero en Manzanares del Real (embalse de Santillana) y, más adelante en el Grajal (embalse del Pardo).

En el estudio del medio físico realizado durante las prácticas nos centramos solo en su primer tramo hasta el embalse de Santillana (894m.), con una longitud de 15,5 Km. La red de drenaje transcurre a través de materiales de distinta dureza, siendo el tramo a través de la Pedriza granítico y de menor erosión. Esto hace que tenga un modelo dendrítico con un cauce principal al que se incorporan paulatinamente otros afluentes o tributarios de menor porte dispuestos a ambos lados de la cuenca. Genera así una cuenca cóncava (Fig.1) con un desnivel medio o pendiente media del cauce (Pe) de 8,4%.



**Fig. 3.** Perfil longitudinal río Manzanares

El Arroyo Mediano nace a 2100m de altitud y desemboca en el embalse de Santillana a 894m. Tiene una longitud de 11 Km. siguiendo una pendiente de tipo cóncavo (Fig.2). La red de drenaje sigue un modelo paralelo. Posee un desnivel medio (Pe) de 11%.

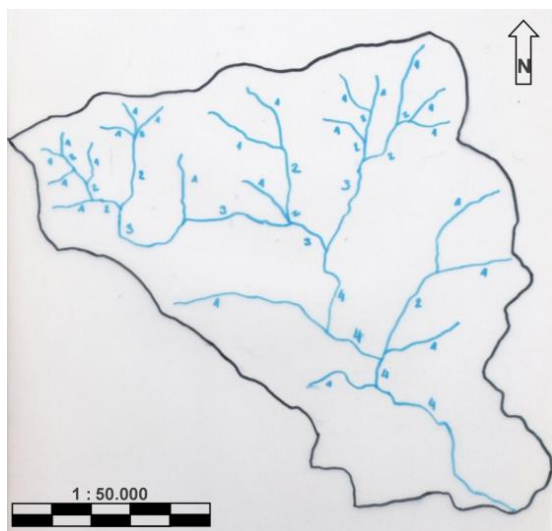


**Fig. 4.** Perfil longitudinal arroyo Mediano.

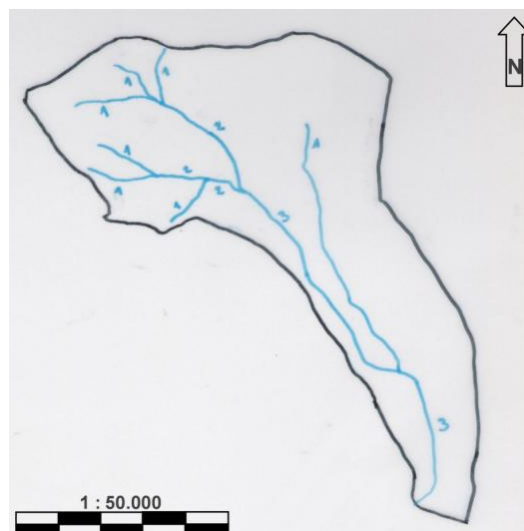
Analizamos la ordenación y jerarquización de los cauces por el método de Strahler. Los ríos de primer orden son los segmentos más jóvenes de un sistema fluvial. La unión de tramos de primer orden da lugar a los ríos de segundo orden y la complejidad aumenta al combinarse sucesivamente.

Analizando esta clasificación en el Manzanares y teniendo en cuenta sus afluentes y tributarios alcanza un orden 4 antes de llegar al embalse. Fig 3.

En el caso de Arroyo Mediano, el máximo orden es 3. Fig 4.



**Fig 5.** Cuenca drenaje río Manzanares Mediano



**Fig 6.** Cuenca drenaje arroyo Mediano

A partir del orden de los cauces se obtiene la relación de bifurcación ( $R_b$ )  $R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$

- $R_b \text{ Manzanares} = \frac{N_3}{N_4} = \frac{2}{1} = 2$
- $R_b \text{ Arroyo Mediano} = \frac{2}{1} = 2$

Según esta relación, el tipo de cauce intermedio que presenta es intermedio o de transición entre rectilíneo y tortuoso.

- Variables morfométricas de superficie:

El área de la cuenca se midió en la sesión de gabinete con un planímetro. La cuenca del río Manzanares tiene un área de  $52,5 \text{ Km}^2$  mientras que la cuenca del arroyo Mediano tiene un área de  $23,5 \text{ Km}^2$ .

Midiendo la longitud de la cuenca en línea recta y considerando la escala 1:50000.

Obtuvimos unos resultados de 12,25 Km de longitud rectilínea en el río Manzanares y 9 Km en el Arroyo Mediano.

La longitud de la cuenca (LA) y el área (A) nos permite obtener conclusiones sobre la relación entre el área y la longitud de la cuenca; Factor de forma:  $F = \frac{A}{LA^2}$

- Factor de forma río Manzanares=  $\frac{52,5}{12,25^2} = 0,35$
- Factor de forma arroyo Mediano=  $\frac{23,5}{9^2} = 0,29$

La relación que mantienen es menor a 1 y las 2 cuencas tienen forma alargada, sin embargo la cuenca del río manzanares algo más circular que el arroyo.



| VARIABLES LINEALES MANZANARES EL REAL   |                            |                       |                                      |                           |   |
|---|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| $h_{\max}(\text{m})$ : 2200   | $h_{\min}(\text{m})$ : 894 | $L(\text{m})$ : 15500 | $Pe(\%)$ : 8,4                       | Tipo de pendiente<br>MXTA | Forma red drenaje<br>DENDRITICA         |
| Características litológicas Sedimentos horizontales o rocas cristalinas homogéneas. Rocas de resistencia uniforme |                            |                       |                                      |                           |   |
| Nº cauces de orden  | 1: 24                      | 2: 6                  | 3: 2                                 | 4: 1                      | 5: 0                                    |
| Relación de bifurcación   | $R_{1,2}$ : 3.42           | $R_{2,3}$ : 2         | $R_{3,4}$ : 2                        | $R_{4,5}$ : 1             | $Rb = \frac{\sum R_{n,n+1}}{N}$ : 2.105 |
| $L(\text{Km})$ : 15.5   | $E(\text{Km})$ : 11.8      |                       | $SC(L/E)$ : 1.31                     |                           |   |
| Tipo de cauce REGULAR   |                            |                       |                                      |                           |   |
| VARIABLES DE SUPERFICIE   |                            |                       |                                      |                           |   |
| $A(\text{Km}^2)$ 52.5   | $LA(\text{Km})$ 12.25      |                       | Factor de forma ( $F=A/LA^2$ ): 0.35 |                           |   |
| Tipo de cuenca: EXORREICA   |                            |                       |                                      |                           |   |
| Características ambientales: LITOLOGIA PERMEABLE O RESISTENTE. CLIMA HUMEDO. CUBIERTA VEGETAL EN BUEN ESTADO      |                            |                       |                                      |                           |   |
| CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA CUENCA FLUVIAL  |                            |                       |                                      |                           |   |
| SISTRATO ACIDO. PREDOMINANCIA DE PINOS Y MATORRAL.  |                            |                       |                                      |                           |   |
| BAJA DENSIDAD VEGETAL Y ABUNDANCIA DE TERRENOS IMPRODUCTIVOS  |                            |                       |                                      |                           |   |

**Tabla 1.** Datos de las distintas variables lineales y de superficie medidas para el río Manzanares.

| VARIABLES LINEALES ARROYO MEDIANO   |                            |                       |                                      |                              |  |
|---|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|--|
| $h_{\max}(\text{m})$ : 2100   | $h_{\min}(\text{m})$ : 894 | $L(\text{m})$ : 11000 | $Pe(\%)$ : 10.96                     | Tipo de pendiente<br>CONCAVA | Forma red drenaje<br>PARALELO-DENDRITICA |
| Características litológicas: Sedimentos horizontales o rocas cristalinas homogéneas                           |                            |                       |                                      |                              |  |
| Nº cauces de orden  | 1: 7                       | 2: 2                  | 3: 1                                 | 4: 0                         | 5: 0                                     |
| Relación de bifurcación   | $R_{1,2}$ : 2.33           | $R_{2,3}$ : 1         | $R_{3,4}$ : 1                        | $R_{4,5}$ : 0                | $Rb = \frac{\sum R_{n,n+1}}{N}$ : 2.84   |
| $L(\text{Km})$ : 11.00  | $E(\text{Km})$ : 9.5       |                       | $SC(L/E)$ : 1.15                     |                              |  |
| Tipo de cauce DE TRANSICION   |                            |                       |                                      |                              |  |
| VARIABLES DE SUPERFICIE   |                            |                       |                                      |                              |  |
| $A(\text{Km}^2)$ 20.96  | $LA(\text{Km})$ 9          |                       | Factor de forma ( $F=A/LA^2$ ): 0.29 |                              |  |
| Tipo de cuenca: EXORREICA   |                            |                       |                                      |                              |  |
| Características ambientales: LITOLOGIA PERMEABLE O RESISTENTE. CLIMA HUMEDO. CUBIERTA VEGETAL EN BUEN ESTADO. |                            |                       |                                      |                              |  |
| CARACTERIZACION AMBIENTAL DE LA CUENCA FLUVIAL  |                            |                       |                                      |                              |  |
| SISTRATO ACIDO, CON ABUNDANCIA DE LIMOS Y ARENAS.   |                            |                       |                                      |                              |  |
| PREDOMINANCIA DE PINO Y MATORRAL  |                            |                       |                                      |                              |  |

**Tabla 2.** Datos de las distintas variables lineales y de superficie medidas para el arroyo Mediano.

#### – Hidrología

El caudal de un río puede variar a lo largo del tiempo pudiendo alcanzar valores extremos en determinadas estaciones del año.

Aplicamos los conocimientos de la morfometría de la cuenca y determinamos a partir de estos y de las características climáticas valores de caudales siguiendo el modelo racional.

Para aplicar el método racional necesitamos estimar los siguientes parámetros:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Donde:

Q = caudal máximo o de avenida.

C= coeficiente de escorrentía (típicamente 0,2 a 0,7)

I = intensidad de precipitación

A = superficie de la cuenca

- Intensidad de precipitación (I):

$$I_t = I_d \left( \frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0,1}}$$

$$t_c = 0,3 \left( \frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

$$I_d = P \text{ máx día } / 24$$

$I_1/I_d$

MAPA DE ISOLINEAS  $\frac{I_1}{I_d}$

BALARES: ENTRE 11 Y 12  
CANARIAS: 8 EN LA VERTIENTE NORTE DE ISLAS DE MARCADO RELIEVE  
8 EN SU VERTIENTE SUR Y EN ISLAS DE BUENA TOPOGRAFÍA

Después de realizar numerosos cálculos nos dan unos resultados. Al ser unos cálculos un poco complicados nos han facilitado una tabla con los resultados obtenidos.

| Periodo de retorno                      | T=5   | T=10  | T=100 | T= 500 |
|---|-------|-------|-------|--------|
| Prec. Max ponderada total diaria en mm. | 80    | 95    | 139   | 152    |
| It en mm/hora                           | 14,42 | 17,00 | 25,02 | 27,30  |

- Coeficiente de escorrentía (C) :

Casi todos los libros ofrecen tablas orientativas con los valores probables del coeficiente de escorrentía. Nosotros emplearemos la fórmula de MOPU (1990) y Ferrer (1993):

$$C = \frac{(x-1)(x+23)}{(x+11)^2} \quad \text{donde: } x = \frac{P_d}{P_0}$$

siendo:

$C$  = Coeficiente de Escorrentía

$P_d$  = Precipitación diaria (mm.)

$P_0$  = Umbral de escorrentía (mm.),  $P_0 = 0,2 \cdot 254 [(100/N) - 1]$

$N$  es el Número Hidrológico de curva y se obtiene de la siguiente tabla:

| Cubierta del suelo                         |         |  | Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo. |    |    |    |
|--|---------|--|--|----|----|----|
| Clase                                      | Laboreo | Condiciones hidrológicas para la infiltración. | A  | B  | C  | D  |
| - Barbecho.....                            | ---     | ---  | 77   | 86 | 91 | 94 |
| - Cultivos alineados...                    | R       | Pobres   | 72   | 81 | 88 | 91 |
|  | R       | Buenas   | 67   | 78 | 85 | 89 |
|  | C       | Pobres   | 70   | 79 | 84 | 88 |
|  | C       | Buenas   | 65   | 75 | 82 | 86 |
|  | C-T     | Pobres   | 66   | 74 | 80 | 82 |
| ...  |         |  |  |    |    |    |
|  | C       | Buenas   | 6  | 35 | 70 | 79 |
| - Prados permanentes...                    | ---     | ---  | 30   | 58 | 71 | 78 |
| - Montes con pastos (ganadero-forestal)... | ---     | Pobres   | 45   | 66 | 77 | 83 |
|  |         | Regulares                                      | 36   | 60 | 73 | 79 |
|  |         | Buenas   | 25   | 55 | 70 | 77 |
| - Bosques (forestales)...                  | ---     | Muy pobres                                     | 56   | 75 | 86 | 91 |
|  |         | Pobres   | 46   | 68 | 78 | 84 |
|  |         | Regulares                                      | 36   | 60 | 70 | 76 |
|  |         | Buenas   | 26   | 52 | 63 | 69 |
|  |         | Muy buenas                                     | 15   | 44 | 54 | 61 |
| - Caseríos.....                            | ---     | ---  | 59   | 74 | 82 | 86 |
| - Caminos en tierra...                     | ---     | ---  | 72   | 82 | 87 | 89 |
| - Caminos en firme...                      | ---     | ---  | 74   | 84 | 90 | 92 |

**Tabla 4:** Valores de los números de curva correspondientes a los distintos grupos hidrológicos del suelo.

Las superficies que se encuentran en la cuenca distribuidas en % y sus correspondientes números de curva se encuentran en la tabla siguiente:

| Tipo de cobertura del suelo | Superficie en % | N asignado |
|-----------------------------|-----------------|------------|
| Bosques                     | 35              | 44         |
| Bosques con pastos          | 20              | 55         |
| Prados                      | 30              | 60         |
| Pastizales                  | 0               |            |
| Caminos                     | 15              | 82         |

Nos han facilitado los datos y el resultado es que el Número hidrológico de curva para la cuenca es de 56,6 mm y un Po de 38,8 mm, lo que supone que el coeficiente de escorrentía es para esta cuenca actualmente de 0,16.

|   | N ponderado | Po    | Pd/Po | C    |
|---|-------------|-------|-------|------|
| A | 56,6        | 38,8  | 2,1   | 0,16 |
| B | 40          | 76.2  | 1     | 0    |
| C | 75          | 16.93 | 4.7   | 0.41 |

**Tabla5:** coeficientes de escorrentía; (A) datos de cobertura forestal actuales; (B) superficie arbolada aumenta; (C) superficie arbolada disminuye; (para un periodo de retorno de T=5).

En los cálculos hidrológicos es muy importante tener presente las unidades, si la superficie de la cuenca se ha medido en  $\text{km}^2$ , la Intensidad en mm/hora, es necesario dividir entre 3,6 para obtener el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ :

$$Q = C \cdot I \cdot A/3,6: \quad 0.16 \times 14.42 \times 52.5/3,6 = \underline{33.64 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- La intensidad de precipitación (I) de la cuenca del Manzanares es de 14.42 mm/h.
- El coeficiente de escorrentía (C) tiene un valor de 0.16
- El caudal máximo o de avenida (Q) tiene un valor de 33.64  $\text{m}^3/\text{s}$  para un periodo de 5 años

|   | Periodo de retorno (T;años) | Coeficiente de escorrentia (C) | Intensidad de precipitacion (I;mm/h) | Superficie de la cuenca (A;Km <sup>2</sup> ) | Caudal maximo o de avenida (Q; m <sup>3</sup> /s) |
|---|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| A | 5                           | 0.19                           | 14.42                                | 52.5   | 39.95   |
| B | 5                           | 0.038                          | 14.42                                | 52.5   | 7.94  |
| C | 5                           | 0.47                           | 14.42                                | 52.5   | 100.10  |
| A | 100                         | 0.37                           | 25.02                                | 52.5   | 135   |
| B | 100                         | 0.17                           | 25.02                                | 52.5   | 63.21   |
| C | 100                         | 0.66                           | 25.02                                | 52.5   | 861.98  |

**Tabla 6.** Variación del caudal de avenida (Q) en función del coeficiente de escorrentía (C), que depende del tipo de vegetación. Supuestos: A) deforestación del pinar; se añadió pastizal en su lugar para uso ganadero; B) aumento de la superficie de bosque,

tras la reforestación de suelo improductivo; C) transformación de toda la superficie en cultivos.

### Variables físico químicas

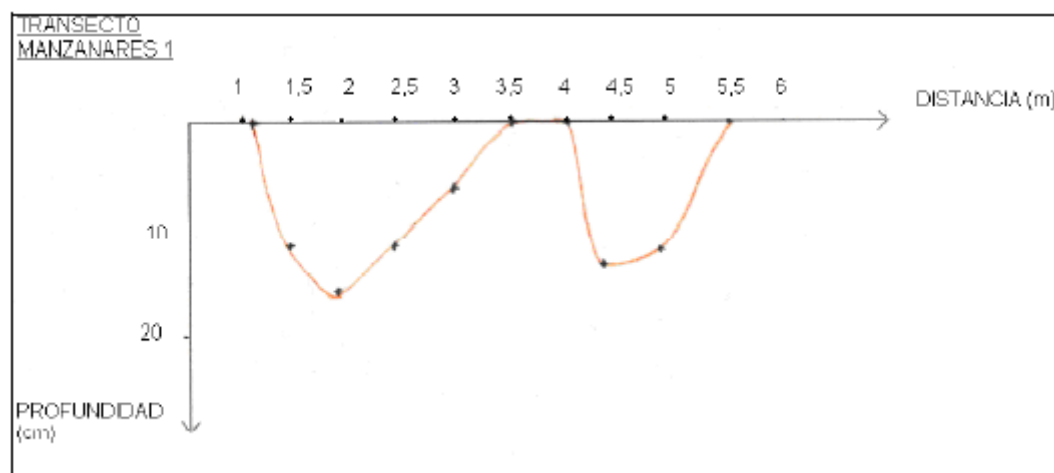
El oxígeno disuelto y su correspondiente porcentaje en saturación son mayores en los sistemas que se encuentran al norte de la comunidad de Madrid. Los valores Tabla 1. Son superiores en el embalse de Santillana (8,38 ppm y 101,00% de saturación), mientras que en la laguna de El Campillo presenta los más bajos (2,95 ppm y 35,15% de saturación). El río Jarama en su tramo alto presenta una cantidad de oxígeno disuelto mayor que en el tramo bajo (8,86 frente a 6,98 ppm). La conductividad y el pH se comportan con un patrón inverso al del oxígeno, siendo mayores en los sistemas más meridionales. Los valores más bajos de ambas variables se registran en el río Manzanares, cuyo valor disminuye a 3 grados respecto a los demás. La velocidad media de la corriente es inferior en el tramo alto del Jarama y el Manzanares (0,44 y 0,14 m/s respectivamente). El río Jarama en su tramo bajo fluye sensiblemente mas rápido (0,84 m/s).

| LUGAR       | O <sub>2</sub> (ppm) |          | O <sub>2</sub> (% sat.) |          | Conductiv. (μs/cm) |          | pH   | T (°C) | Vm (m/s) |
|-------------|----------------------|----------|-------------------------|----------|--------------------|----------|------|--------|----------|
|             | $\bar{X}$            | $\sigma$ | $\bar{X}$               | $\sigma$ | $\bar{X}$          | $\sigma$ |      |        |          |
| SANTILLANA  | 8,38                 | 0,04     | 101,00                  | 1,46     | 141,62             | 13,74    | 6,20 | 18,65  | X        |
| MANZANARES  | 8,05                 | 0,20     | 90,46                   | 2,52     | 23,78              | 0,05     | 5,80 | 15,85  | 0,24     |
| JARAMA ALTO | 8,86                 | 1,35     | 104,06                  | 16,30    | 384,00             | 1,87     | 6,60 | 18,82  | 0,14     |
| JARAMA BAJO | 6,98                 | 0,09     | 82,55                   | 1,35     | 1092,50            | 3,32     | 6,60 | 19,45  | 0,84     |
| EL CAMPILLO | 2,95                 | 0,09     | 35,15                   | 1,20     | 1825,60            | 2,70     | 6,90 | 18,30  | X        |

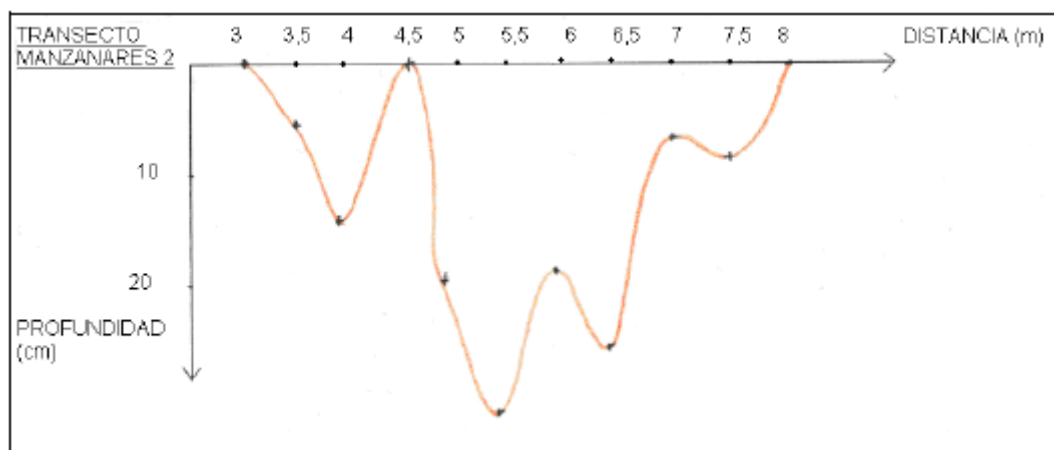
**Fig.7.** Variables físico-químicas y velocidad media de los sistemas acuáticos analizados. % sat. Porcentaje de saturación, conductiv.conductividad, T. Temperatura, Vm. Velocidad media

Los caudales medios en el Manzanares a la altura de Canto Cochino toman valores de 0,059 m<sup>3</sup>/s y 0,473 m<sup>3</sup>/s. En los tramos altos y bajo del Jarama los datos obtenidos alcanzan los 0,126 m<sup>3</sup>/s y 0,434 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Las figuras, 1-4 nos muestran los perfiles de los cauces donde se efectuaron los transeptos para estimar los caudales. El río Manzanares es poco profundo, lo que asociado a la irregularidad del terreno y la escasa profundidad del suelo propicia que las rocas afloren a la superficie en mitad de la masa de agua.

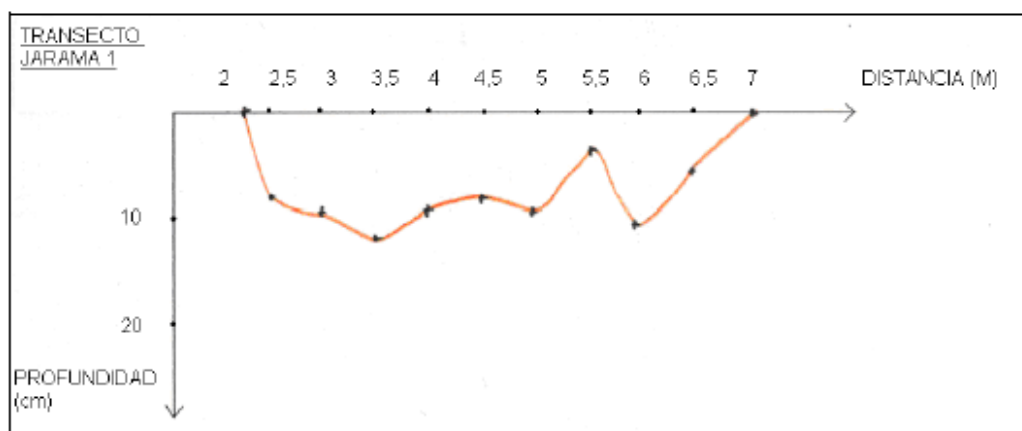
En el Jarama los perfiles son más suaves y su profundidad y anchura aumentan hacia la desembocadura.



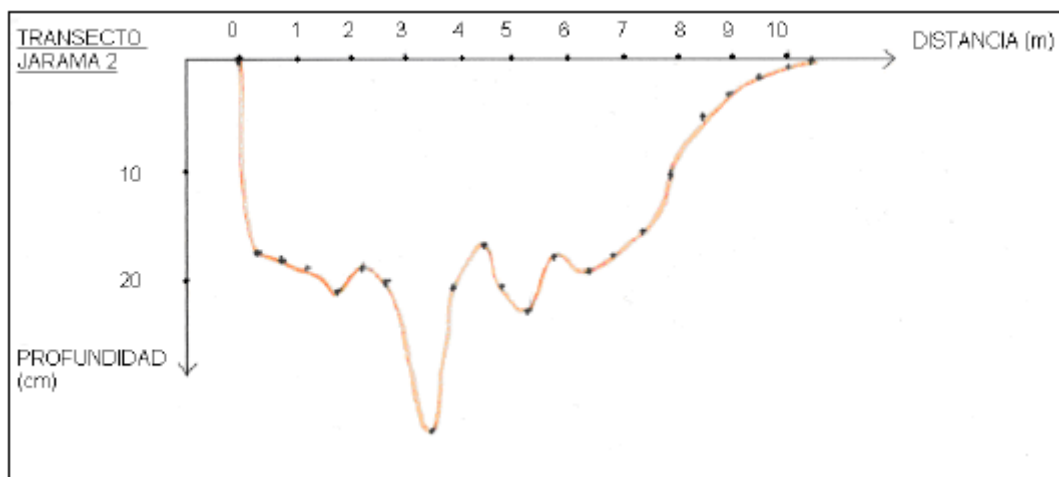
**Fig 8.** Perfil del cauce del río Manzanares en el Transecto 1.



**Fig 9.** Perfil del cauce del río Manzanares en el transecto 2.



**Fig 10.** Perfil del cauce del río Jarama en el tramo alto.



**Fig 11.** Perfil del cauce del río Jarama en el tramo bajo.

La disposición espacial del río Manzanares y del arroyo Mediano es diferente, a pesar de discurrir por un sustrato granítico y verter ambos sus aguas en el Embalse de Santillana. El río Manzanares posee una red fluvial dendrítica, debido a las fallas transversales que hay en su cuenca. Sin embargo el arroyo mediano posee una red fluvial paralela, debido a que las fallas discurren paralelamente, condicionando su recorrido en dos terceras partes de su recorrido.

El factor de forma en el arroyo Mediano es menor que en el Manzanares, y eso es debido a su forma más alargada.

El valor de la relación de bifurcación en ambos ríos es igual a 2, e indica que las cuencas no presentan una estructura geológica compleja y si una alta estabilidad.

A pesar de que el río Manzanares esta a una altura un poco más elevada, la pendiente del arroyo Mediano es un poquito más alta, debido a que la falla hace que tenga un poco de más pendiente.

La extensión de área del Río Manzanares hasta llegar a su desembocadura en el embalse de Santillana es mucho mayor que la del arroyo Mediano. El caudal del río Manzanares se mantiene durante todo el año, y esto es esperable debido a su extensión de área, indicativo de que tiene un gran aporte de agua de afluentes y arroyos. Por el contrario el arroyo Mediano posee un caudal estacional.

Los valores de caudal del Manzanares difieren mucho a pesar de haber realizado las mediciones a poca distancia unos de otros. El resultado anómalo puede deberse a la escasez de precipitaciones durante los meses antes de la excursión. A este respecto, la poca profundidad del cauce implica que cualquier fluctuación implica una variación del cauce puntualmente. Además la presencia de cantos de tamaño considerable dificulta la correcta toma de datos, y el método de cálculo de los caudales resulta algo impreciso.

Estos resultados son esperables debido a la escasez de precipitaciones y a la ausencia del aporte de nieve que cubren las sierras durante el invierno.

Para el estado actual de la cuenta y el uso del territorio del Manzanares, el caudal máximo (Q) es bajo, lo que se correlaciona con un escaso riesgo de avenidas. Esto implica que el embalse del Santillana no requiera una gran presa para controlar la masiva afluencia de agua y sedimentos arrastrado por ella.

El valor de Q depende de los usos del territorio. Una deforestación masiva para creación de cultivos, pastos para el ganado, urbanizaciones o zonas recreativas implica un aumento en el valor de la Q, lo que lleva consigo una problemática con el aumento de las avenidas de agua.

Un aumento en el caudal de agua implicaría la perturbación de la vegetación riparia o de rivera, que podría verse destruida debido a inundaciones, destruyendo todo el hábitat tanto de flora como de fauna albergada en el bosque de ribera. Además provee de materia orgánica al río y controla las escorrentías superficiales, los flujos subsuperficiales y el abastecimiento de agua. Por último mejora la calidad del paisaje y genera un valor recreativo (Gonzales y Garcia, 2001)

La recuperación de espacios deforestados implica en una mejora en la retención de agua como muestran los resultados obtenidos, por tanto debe favorecerse el aumento de la cobertura arbórea para disminuir los riesgos de posibles avenidas de agua.

### **Comunidades de heterótrofos: Macroinvertebrados bentónicos. Morfología y adaptaciones.**

Los macroinvertebrados bentónicos son todos los invertebrados que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos al menos en alguna etapa de su ciclo de vida (Segnini, 2003). Se procedió a su captura mediante una manga de muestreo con un poro de apertura de red igual o menos a 150µm y el resultado obtenido de cada taxón viene recogido en la Tabla 7.

En base a los resultados obtenidos del muestreo en los distintos lugares y tramos, se distinguen los principales grupos predominantes en los sistemas lóticos analizados.

Como se observa en la Tabla 7 en el sistema lótico que constituye el río Manzanares destacan Órdenes como Dípteros, Odonatos, Efemerópteros y Arácnidos respectivamente en orden decreciente.

En el restante sistema lótico que viene compuesto por el río Jarama se han analizado dos tramos aunque en este caso, en ambos el resultado es semejante en cuanto a la fauna macroinvertebrada mayoritaria. Cabe destacar la presencia de principalmente artrópodos del Orden Tricóptera, seguido por Dípteros, Plecópteros y Efemerópteros. Sin embargo no se encuentra la misma diversidad de organismos en los dos tramos, sino que en la parte alta del río Jarama es mayor.



Los distintos organismos han tenido que llevar a cabo adaptaciones para adaptarse al medio lótico en el que la corriente de agua es continua que comentaremos más adelante en la presente memoria.

| MACROINVERTEBRADOS |               |                              |               |
|--------------------|---------------|------------------------------|---------------|
| RÍO                | TAXÓN         | FAMILIA                      | Nº INDIVIDUOS |
| Manzanares         | Oligoquetos   | <i>F. Lumbrichidae</i>       | 1             |
|                    | Moluscos      | <i>F. Ancyliidae</i>         | 5             |
|                    | Arácnidos     | <i>F. Hydracarina</i>        | 10            |
|                    | Efemerópteros | <i>F. Heptageniidae</i>      | 14            |
|                    |               | <i>F. Baetidae</i>           | 4             |
|                    | Odonatos      | <i>F. Gomphidae</i>          | 19            |
|                    |               | <i>F. Aeschnidae</i>         | 7             |
|                    |               | <i>F. Libellulidae</i>       | 5             |
|                    |               | <i>F. Cordelugasteriidae</i> | 5             |
|                    |               | <i>F. Coenagrionidae</i>     | 2             |
|                    |               | <i>F. Calopterygidae</i>     | 2             |
|                    | Tricópteros   | <i>F. Brachicentridae</i>    | 1             |
|                    |               | <i>F. Leptoceridae</i>       | 2             |
|                    |               | <i>F. Goeridae</i>           | 1             |
|                    | Plecópteros   | <i>F. Leuctridae</i>         | 2             |
|                    |               | <i>F. Taeniopterygidae</i>   | 2             |
|                    | Heterópteros  | <i>F. Gerridae</i>           | 5             |
|                    | Coleópteros   | <i>F. Hydrophilidae</i>      | 1             |
|                    |               | <i>F. Hydraenidae</i>        | 1             |
|                    | Dípteros      | <i>F. Chironomidae</i>       | 36            |
|                    |               | <i>F. Simuliidae</i>         | 9             |
| Jarama Alto        | Oligoquetos   | <i>F. Lumbrichidae</i>       | 2             |
|                    | Hirudíneos    | <i>F. Erpobdellidae</i>      | 3             |
|                    |               | <i>F. Hydrudinidae</i>       | 2             |
|                    | Moluscos      | <i>F. Bythinella</i>         | 1             |
|                    |               | <i>F. Ancyliidae</i>         | 2             |
|                    | Crustáceos    | <i>F. Astacidae</i>          | 12            |
|                    | Efemenópteros | <i>F. Heptageniidae</i>      | 9             |
|                    |               | <i>F. Leptophebiidae</i>     | 2             |
|                    |               | <i>F. Baetidae</i>           | 16            |

|                    |               |                           |     |
|--------------------|---------------|---------------------------|-----|
|                    | Odonatos      | <i>F. Calopterygidae</i>  | 9   |
|                    |               | <i>F. Gomphidae</i>       | 4   |
|                    | Tricópteros   | <i>F. Hydropsychidae</i>  | 47  |
|                    |               | <i>F. Rhyacophilidae</i>  | 5   |
|                    |               | <i>F. Philopotamidae</i>  | 1   |
|                    |               | <i>F. Brachicentridae</i> | 14  |
|                    | Plecópteros   | <i>F. Chloroperlidae</i>  | 5   |
|                    |               | <i>F. Leuctridae</i>      | 25  |
|                    |               | <i>F. Perlidae</i>        | 2   |
|                    | Heterópteros  | <i>F. Gerridae</i>        | 11  |
|                    | Coleópteros   | <i>F. Elmidae</i>         | 1   |
|                    |               | <i>F. Hydrophilidae</i>   | 19  |
|                    |               | <i>F. Gyrinidae</i>       | 2   |
|                    | Dípteros      | <i>F. Chiromidae</i>      | 5   |
|                    |               | <i>F. Tipulidae</i>       | 38  |
|                    |               | <i>F. Simulidae</i>       | 19  |
| <b>Jarama Bajo</b> | Oligoquetos   | <i>F. Tubicilidae</i>     | 1   |
|                    |               | <i>F. Lumbrichidae</i>    | 6   |
|                    | Moluscos      | <i>F. Physidae</i>        | 10  |
|                    | Hirudíneos    | <i>F. Glossiphoniidae</i> | 7   |
|                    |               | <i>F. Erpobdellidae</i>   | 19  |
|                    | Crustáceos    | <i>F. Astacidae</i>       | 2   |
|                    | Efemerópteros | <i>F. Baetidae</i>        | 26  |
|                    | Odonatos      | <i>F. Aeschnidae</i>      | 1   |
|                    | Tricópteros   | <i>F. Hydropsychidae</i>  | 106 |
|                    | Plecópteros   | <i>F.</i>                 | 4   |
|                    |               | <i>Taeniopterygidae</i>   |     |
|                    |               | <i>F. Perlidae</i>        | 1   |
|                    | Heterópteros  | <i>F. Corixidae</i>       | 1   |
|                    | Dípteros      | <i>F. Chironomidae</i>    | 3   |
|                    |               | <i>F. Simuliidae</i>      | 12  |

**Tabla 7.** Macroinvertebrados presentes en los ríos Manzanares y Jarama (tramo alto y bajo).

### Evaluación del estado ecológico de los ríos mediante índices de calidad. Aplicación de los índices I.B.M.W.P. , QBR, IHF.

| Rio\Índices       | IBMWP | QBR | IHF | Margalef | Shannon |
|-------------------|-------|-----|-----|----------|---------|
| Manzanares        | 139   | 50  | 83  | 4,08     | 3,59    |
| Tramo alto Jarama | 134   | 90  | 53  | 4,15     | 3,86    |
| Tramo bajo Jarama | 57    |     |     | 2,46     | 3,33    |

**Tabla 8.** Resultados de los índices de calidad.

### Comunidades de autótrofos.

Una vez llevado a cabo el muestreo de los productores primarios en los sistemas acuáticos en los distintos sistemas acuáticos, se procede a su análisis. La Tabla X refleja los diferentes organismos fotosintéticos hallados.

Se encontraron productores primarios de cuatro filos diferentes con una buena representación de cada uno. Las Clorofíceas destacan por presentar una mayor diversidad que el resto con un total de doce especies distintas.

También cabe señalar tanto la ausencia de Cianofíceas en la laguna de El Campillo, como la falta de dinoflagelados en el Embalse de Santillana.

Además del fitoplancton, forman parte de los productores primarios perifiton y macrófitos. El perifiton son algas microscópicas bentónicas, y están compuestas por los mismos filos que el fitoplancton.

| MANZANARES-SANTILLANA | EL RASO                       | EL CAMPILLO                   |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Chlorophyta           | Chlorophyta                   | Chlorophyta                   |
| <i>Pediastrum</i>     | <i>Chlamydomones</i>          | <i>Scenedesmus armatus</i>    |
| <i>Spyrogira</i>      | <i>Chaetophora</i>            | <i>Closterum venus</i>        |
| <i>Hyalotheca</i>     | <i>Actinastrum hantzschii</i> | <i>Actinastrum hantzschii</i> |
| <i>Staurostrum</i>    | <i>Closterium</i>             | <i>Pediastrum muticum</i>     |
| <i>Chaetophora</i>    |                               |                               |
| Cyanophyta            | Cyanophyta                    | Cyanophyta                    |
| <i>Phormidium</i>     | <i>Cbroococales</i>           |                               |
| <i>Oscillatoria</i>   | <i>Anabaena cylindrica</i>    |                               |
| <i>Coelesphaerium</i> |                               |                               |

| <b>Crysophyta</b>                              | <b>Crysophyta</b>                            | <b>Crysophyta</b>         |
|--|--|---------------------------|
| <i>Bacillariophyceae</i><br><i>Fragillaria</i> | <i>Centritractus</i><br><i>belonnophorus</i> | <i>Diploneis ovalis</i>   |
| <i>Bacillariophyceae Nitzschia</i>             | <i>Bacillariophyceae Cyclotella</i>          | <i>Amphora ovalis</i>     |
|  | <i>Chilomonas oblonga</i>                    |                           |
| <b>Dinophyta</b>                               | <b>Dinophyta</b>                             | <b>Dinophyta</b>          |
|  | <i>Ceratium</i>                              | <i>Peridinium cinctum</i> |

**Tabla 9.** Organismos fitoplanctónicos presentes en los distintos sistemas leníticos.

### Comunidades de heterótrofos II: Zooplancton y meiobentos.

Una vez recogidas y analizadas las distintas muestras, se representa en la siguiente tabla la variabilidad de los taxones faunísticos planctónicos de los diferentes sistemas leníticos.

| MANZANARES-SANTILLANA | EL RASO                                       | EL CAMPILLO                                   |
|-----------------------|---|---|
| <b>Copépodo</b>       | <b>Copépodo</b>                               | <b>Copépodo</b>                               |
| <i>Calanioda</i>      | <i>Calanioda</i>                              | <i>Calanoida</i>                              |
| <i>Cyclopoida</i>     | <i>Harpacticoida</i>                          | <i>Harpacticoida</i>                          |
|                       | <i>Cyclopoida</i>                             |   |
| <b>Rotífero</b>       | <b>Rotífero</b>                               | <b>Rotífero</b>                               |
| Sin determinar        | <i>Brachionus calyciflorus</i><br><i>pala</i> | <i>Brachionus calyciflorus</i><br><i>pala</i> |
| <b>Braquiópodo</b>    | <b>Braquiópodo</b>                            | <b>Braquiópodo</b>                            |
| <b>Cladóceros</b>     | <b>Cladóceros</b>                             | <b>Cladóceros</b>                             |
| <i>G. Daphnia</i>     | <i>Eurycerus lamellatus</i>                   | <i>Daphnia pulex</i>                          |
| <i>G. Eurycerus</i>   | <i>Daphnia cucullata</i>                      | <i>G. Eurycerus</i>                           |
|                       | <i>Pleuroxus</i>                              |   |
| <b>Ostrácodo</b>      | <b>Ostrácodo</b>                              | <b>Ostrácodo</b>                              |
| -                     | Podocopa                                      | Sin determinar                                |

**Tabla 10.** Microinvertebrados recogidos en las muestras de las diferentes lagunas.

Los principales filos zooplanctónicos por tanto, según muestra la Tabla X son Copépodos, Rotíferos, Braquiópodos y dentro de estos el suborden de los Cladóceros, y Ostrácodos.

Según estos datos el lugar donde mayor diversidad habría sería en la laguna de El Raso.

## Discusión

### **Análisis del medio físico. Cuenca, red de drenaje y caudales**

#### Rio Manzanares.

El pH encontrado en el tramo alto del rio Manzanares concuerda con la litología de carácter ácido sobre la que se encuentra (Izco, 1984). La baja conductividad y el elevado porcentaje de oxígeno disuelto coincide con lo esperable en el tramo alto de un río de montaña (Margalef, 1983). Con estas características se puede afirmar que se trata de un sistema oligotrófico.

#### Rio Jarama.

El elevado porcentaje de saturación de oxígeno en el tramo alto del Jarama es indicativo de la buena calidad de las aguas. El aumento de la conductividad y la bajada de pH con respecto al Manzanares podría deberse a la progresiva carga de sales erosionadas de las litologías por las que han discurrido tanto el Jarama como sus afluentes. Aunque en esta zona predominan rocas ácidas, la frontera con rocas más alcalinas están próximas (Izco, 1984). El arrastre de estos materiales y la materia orgánica procedente de los cultivos que lo rodean serían responsables de estas diferencias.

A lo largo de su recorrido al Jarama se le anexionan numerosos afluentes, y posteriormente residuos urbanos (Suarez et al. 1993) lo que explica el mayor caudal encontrado aguas abajo. Una vez pasados los núcleos de Alcobendas, donde se anexionan los arroyos Viñuelas y de la Vega, el río Jarama se convierte en uno de los más contaminados de la Península Ibérica. En menos de 10 km recibe vertidos de cerca de medio millón de personas, a través de arroyos y depuradoras, además de los desechos que derivan del aeropuerto de Barajas (Suarez et al. 1993). Como consecuencia, la concentración de oxígeno en el tramo bajo desciende y la conductividad alcanza valores tres veces superiores a los del tramo alto. En su tramo bajo el río atraviesa sustratos ricos en sales, sobre todo en yesos que contribuyen de forma importante a en el aumento de la conductividad y del pH.

#### Embalse de Santillana.

La calidad de las aguas del embalse es adecuada, lo que se refleja en su buena oxigenación (8,384 ppm y 101% de saturación) y conductividad no muy elevada (141  $\mu$ S/cm). El pH es el esperable en un entorno de rocas ácidas (Izco 1984).

Sus características físico-químicas se traducen a una carga moderada de partículas disueltas y nutrientes (aguas oligo-mesotróficas). No obstante la escasa profundidad de su lámina de agua aumenta el riesgo de eutrofización, por lo que es sometido a controles periódicos para detectar cualquier inicio en este proceso.

#### Sistemas leníticos del Parque Regional del Sureste.

La elevada conductividad encontrada en la laguna de El Campillo refleja adecuadamente sus características litológicas. El humedal se construye sobre masas rocosas de yesos miocénicos cuya génesis tuvo lugar por precipitación salina en un ambiente árido. El agua subterránea pasa a través del sustrato aportando sales de sodio, magnesio, calcio y sobre todo sulfatos. Cuando estas sales entran en disolución incrementan la conductividad.

La evaporación de la lámina de agua contribuye también al aumento de esta. Sin embargo, los aportes del río Lozoya, que discurre sobre sustratos ácidos de las sierras madrileñas, atenúan esta cifra.

Los contaminantes urbanos y agrícolas que se vierten al Jarama acaban pasando al acuífero y se incorporan a las lagunas, que como en el caso de El Campillo, se encuentran cerca de los cauces fluviales. El alto contenido en materia orgánica aumenta la producción de fitoplancton. Su actividad fotosintética eleva los valores de pH, cuyo valor medio anual es de 8.65 (Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid). Los resultados de este estudio reflejan aguas algo más ácidas, con un pH próximo a la neutralidad. Estos valores son superiores a los de los ríos y embalses del Norte de la Comunidad de Madrid, lo que concuerda con su litología de carácter básico y su mayor producción primaria. La biomasa acuática consume todo el oxígeno disuelto en el agua. De esta forma, sus valores permanecen muy por debajo de su saturación, como se aprecia en las bajas concentraciones obtenidas. La estratificación térmica estival que sufre la laguna, junto al gran crecimiento de microorganismos fotosintéticos y macrofitos generaría suficiente materia orgánica para agotar el oxígeno del fondo. Existiría por tanto una demanda química de oxígeno por parte de la necromasa del propio humedal, además de la correspondiente a los vertidos urbanos y agrícolas.

#### **Comunidades de heterótrofos: Macroinvertebrados bentónicos. Morfología y adaptaciones.**

##### Río Manzanares.

Las larvas de efímeras son representativas de ambientes acuáticos limpios. Sin embargo, aparecen dípteros de la familia Chironomidae, que se emplean frecuentemente como indicadores de mala calidad de las aguas (Pujante, 1997).

Esto puede deberse a la cercanía de zonas turísticas y a la alta afluencia de excursionistas, por lo que una de las medidas que se podrían tomar podría ser la limitación de acceso a la zona.

El tramo alto del río Manzanares es de aguas rápidas. Se han encontrado algunos organismos con adaptaciones encaminadas a desarrollar estructuras de sujeción, frecuentes en sistemas lóticos. Es el caso efemerópteros, que su cuerpo aplastado les permite vivir debajo de las piedras o mantenerse en el interior de la capa límite, las larvas de simúlidos que se fijan al sustrato mediante unos ganchos abdominales o las larvas de tricópteros que viven en un estuche protector de grava. Se han encontrado organismos detritívoros que suelen vivir dentro del sustrato (*F. Lumbricidae*) El orden más abundante encontrado en el Manzanares son los odonatos. Las larvas viven en sistemas acuáticos y son organismos depredadores que se alimentan de todo tipo de invertebrados, e incluso, de pequeños vertebrados como renacuajos.

#### Río Jarama.

En este estudio se puede observar la zonación resultante de la distribución de los distintos tipos de organismos en los diferentes microhábitats de los tramos de un río (Guión de prácticas, 2011-2012). Resulta más ilustrativo en caso del río Jarama, ya que al tener datos de un tramo alto y un tramo bajo, se ve que existen diferentes organismos dependiendo de la zona y un número más bajo de familias observadas en el tramo bajo, donde la calidad del agua es menor. Es el caso de los efemerópteros; en el tramo bajo del Jarama se ha encontrado una sola familia, que además no es buena indicadora de calidad del agua. En cambio en el Jarama alto se han encontrado tres familias, entre las cuales hay dos que sí lo son. En el tramo alto pueden encontrarse además macroinvertebrados típicos de aguas limpias, como larvas de distintas familias de tricópteros y de odonatos. La presencia de Gerreidae indica que la alteración no ha sido suficiente para romper la tensión superficial del agua. En el tramo bajo hay presencia de dípteros de las familias Chironomidae y Simuliidae, propios de ambientes muy contaminados (Pujante, 1997).

Las aguas del río Jarama se encuentran en un estado intermedio entre un régimen rápido y un régimen somero. Por ello, abundan taxones adaptados a diferentes hábitats. Las larvas de odonatos y efemerópteros, como se ha mencionado antes, tienen el cuerpo aplastado para poder vivir debajo de las piedras o mantenerse en el interior de la capa límite. Además existen órdenes como los heterópteros que están adaptados a vivir en la superficie, sobre todo en zonas donde la corriente es menor. También se han encontrado familias de oligoquetos, que suelen vivir dentro del sustrato.

Los tricópteros son el orden más abundante. Se han encontrado larvas (que son los estadios presentes en agua dulce), que pueden construir refugios y estuches relacionados con la protección, respiración y alimentación ([www.usc.es](http://www.usc.es)).

En el caso del Jarama, al ser aguas de un caudal medio, estas adaptaciones les permiten vivir en el fondo, fijos al sustrato, y así alimentarse de material vegetal y algas que encuentran sobre las rocas.

### **Evaluación del estado ecológico de los ríos mediante índices de calidad. Aplicación de los índices I.B.M.W.P., QBR, IHF.**

#### Índice I.B.M.W.P.

El tramo alto del Jarama da un resultado de 134, lo que significa que es de clase I, siendo aguas poco contaminadas.

En este tramo las dos familias con más representantes son Hydropsychidae y Tipulidae, como ocurre en el Manzanares las dos familias más abundantes no señalan la calidad del agua que indica este índice ya que este tramo del río cuenta con aguas poco contaminadas y estas dos familias son indicadores de aguas con una contaminación media.

El tramo bajo del Jarama tiene un resultado de 57, siendo de clase III, aguas con una contaminación ya apreciable.

En este tramo la familia más abundante también es Hydropsychidae, siendo incluso más abundante en este caso. En este tramo la abundancia de esta familia si es reflejo del nivel de contaminación de estas aguas, ya que son aguas con una contaminación media.

El índice I.B.M.W.P del Manzanares da un resultado de 139, siendo de clase I, aguas muy poco contaminadas.

En este río se encontraron muchos representantes de la familia Gomphidae, esta familia es representativa de aguas relativamente limpias aunque también pueden vivir en aguas contaminadas con materia orgánica ya que son bastante resistentes a este tipo de contaminación. A pesar de que este índice señale que este tramo del Manzanares esté muy poco contaminado la familia con más individuos encontrados es Chironomidae, esta familia es indicadora de mala calidad en aguas corrientes, como es este caso, aunque indican buena calidad del agua en humedales.

#### Índice Q.B.R

El índice Q.B.R del tramo alto del Jarama da un resultado de 90 sobre 100 lo que denota un muy buen estado de conservación de la ribera y un tipo geomorfológico nivel 3, con ribera extensa, tramo bajo del río, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso.

Este mismo índice pero aplicado al Manzanares da una puntuación de 50, teniendo este una ribera en peor estado de conservación que la del Jarama.

#### Índice I.H.F



El índice I.H.F del Manzanares da una puntuación de 83, constatando una buena capacidad de este río para albergar distintos tipos de hábitats.

El Jarama da una puntuación de 53 sobre 100.

#### Índice de Margalef e índice de Shannon.

El índice de Margalef muestra como el tramo alto del Jarama y el Manzanares tienen un nivel de biodiversidad parecida mientras el tramo bajo del Jarama tiene un nivel significativamente menor.

El índice de Shannon alcanza un mayor valor en el tramo alto del Jarama, aunque los tres tramos muestran valores parecidos, todos mayores de 3, siendo así ríos en los que se aprecia poca contaminación

#### **Comunidades de autótrofos.**

Una vez analizados los distintos productores primarios de los sistemas acuáticos, se comparan los resultados obtenidos. En todos los sistemas leníticos muestreados se detecta la presencia de algas verdes o Clorofíceas y algas doradas o Crisofíceas. Sin embargo de los tres lugares donde tuvo lugar el estudio, sólo en el Embalse de Santillana y la laguna El Raso aparecen las algas verdeazuladas o Cianofíceas. De igual modo sólo en los sistemas acuáticos de las lagunas de El Raso y El Campillo se encuentran los dinoflagelados o Dinofíceas.

En cada ambiente lenítico se encuentran diferentes especies de cada grupo de algas y dinoflagelados:

#### Embalse de Santillana

Las llamadas algas verdes tienen dificultad en algunos casos a nuestro nivel de ser determinadas hasta su especie por tanto en el laboratorio se determinó en su mayoría el género de los organismos encontrados.

Esta división de algas constituye las más abundantes en cuanto especies, formas y adaptaciones. Por tanto se distribuyen de manera más o menos homogénea en el estudio realizado. El desarrollo de clorófitos tanto en el fitoplancton como en el fitobentos incide notablemente sobre el flujo de la materia y la energía.

En el Embalse de Santillana destaca la presencia de los siguientes géneros de Clorofíceas: *Pediastrum*, *Spyrogira*, *Hyalotheca*, *Staurastrum*, *Chaetophora*.

Por otro lado en la Laguna El Raso se encontraron representantes del género *Chlamydomonas*, *Chaetophora*, *Closterium* y la especie *Actinastrum hantzschii*. En la

laguna El Campillo, sin embargo, están presentes géneros tales como *Scenedesmus armatus*, *Closterium venus*, *Actinastrum hantzschii*, *Pediastrum muticum*.

En este caso del Embalse de Santillana en principio se trata de aguas oligo-mesotróficas por tanto indica que no hay un elevado número de productores primarios y por tanto son aguas limpias. Los géneros que encontramos en este lugar tratan en su mayoría de organismos propios de aguas de un embalse ya que son típicos de aguas con pocas corrientes, aunque también existe alguno propio de aguas más rápidas lo que nos indicaría que habría zonas con mayor flujo donde pudieran sobrevivir géneros de este tipo.

Además de Clorofíceas también se hallaron especies de Cianofíceas aunque en menor variedad de géneros ya que estos son sólo tres: *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Coelesphaerium*.

Este tipo de algas verde azuladas, se encuentran en aguas de poco flujo de corriente, sólo están presentes en el Embalse de Santillana y El Raso por tanto parece indicar que la restante laguna de El Campillo consiste en aguas menos tranquilas y de mayor movilidad.

Existen, como se observa en la Tabla X, diferentes géneros de Cianofíceas en ambos lugares.

Esto es debido a los diferentes resultados de las variables físico-químicas en los distintos puntos de muestreo y a la distinta incidencia de la radiación solar.

Por último en este punto de muestreo encontramos determinadas dos especies de Crisofíceas: *Bacillariophyceae Fragillaria*, *Bacillariophyceae Nitzschia*. Ambas especies pertenecen al grupo de las diatomeas, las cuales son utilizadas como bioindicadores. Su presencia en aguas limpias, oligo-mesotróficas como en este caso nos indica una relativa buena calidad del agua.

Salvo en el Embalse de Santillana se han encontrado Dinoflagelados en los otros dos sistemas leníticos. Puede ser debido a un problema de muestreo, identificación, época del año, localización del punto de muestreo, pero los dinoflagelados pueden habitar en aguas oligotróficas de aguas neutras o ligeramente alcalinas como se trata en este caso en el Embalse. (Guión de Prácticas. 2011-2012)

### El Raso

Respecto a las Clorofíceas, en la esta laguna se encontraron los siguientes organismos de esta división de algas:

*Chlamydomonas*, *Chaetophora*, *Actinastrum hantzschii* y *Closterium*.

Hay menos géneros de algas verdes, aunque siguen predominando respecto al resto. Esta laguna es un sistema eutrófico debido a que está situado en una zona

próxima a un polígono industrial donde existe un vertido descontrolado de residuos que aumentan la materia orgánica de la laguna. Por tanto debido al acumulo de nutrientes en exceso, encontramos una variedad distinta al de los otros sistemas leníticos de géneros de Clorofíceas.

Las cianofíceas aparecen en menor cantidad pero los géneros hallados proporcionan información bastante explícita de sobre la laguna. Se encontraron: *Cbroococales* y *Anabaena cylindrica*.

Al tratarse de una laguna eutrofizada, contiene altas concentraciones de nitratos que ocasionan cambios en la estructura de las comunidades microalgales. Estos nitratos inhiben la actividad nitrogenasa de las cianofíceas que fijan el nitrógeno dando como resultado la sucesión de clorofíceas, euglenofíceas, criptofíceas, o de otras cianofíceas. (De la Lanza et al.)

La presencia del género *Anabaena* es un indicador de aguas fuertemente eutrofizadas, presentan heterocistos cuya función es fijar el nitrógeno molecular.

También se encontraron tres especies de Crisofíceas: *Centrtractus belonnophorus*, *Bacillariophyceae Ciclotella*, *Chilomonas oblonga*.

En este caso sólo hay un representante del género de las diatomeas, indicando así una peor calidad del agua que anteriormente. Las otras dos especies de algas amarillas como *Chilomonas oblonga* son comunes en aguas ricas en materia orgánica y crecen masivamente cuando las condiciones son favorables.

(<http://www.biodiversidadvirtual.org>)

En este punto también se encontraron ejemplares de Dinoflagelados del género *Ceratium*. Es un organismo fitoplanctónico común tanto en agua dulce como en el mar. Sus características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos desde el punto de vista reproductiva y de crecimiento. (Zaixso et al.)

### El Campillo

El estudio taxonómico del fitoplancton en esta laguna permite destacar las siguientes especies de Clorofíceas: *Scenedesmus armatus*, *Closterum venus*, *Actinastrum hantzschii*, *Pediastrum muticum*. El alto contenido en materia orgánica y nutrientes de esta laguna hace que haya una gran cantidad de fitoplancton. Este grupo de algas en concreto representan el mayor porcentaje de muestreo ya que el mayor número de organismos pertenecen a las Clorofíceas.

La Laguna El Campillo, sin embargo, no cumple las características físico-químicas adecuadas para albergar especies de Cianofíceas y no se han hallado por tanto ejemplares de algas verde azuladas.

Sobre las Crisofíceas en este punto cabe destacar la presencia de las especies: *Diploneis ovalis* y *Amphora ovalis*. Son especies relativamente comunes y de alta distribución. El género *Amphora* parece ser sensible a la contaminación aunque tolera elevados grados de salinidad.

En este caso, al igual que en la laguna anterior, encontramos un género de Dinoflagelado: *Peridinium*. Este es, junto con *Ceratium*, el género más numeroso tanto en agua dulce como en el mar. Las características de ambos comentadas al hablar de *Ceratium* los permite esa colonización de los diversos ambientes.

Sobre los macrófitos encontrados en los distintos sistemas leníticos se evidencia la presencia principalmente de carrizo o *Phragmites australis* y enea *Typha dominguensis*. Ambos se encuentran bordeando las distintas lagunas, sirviendo así de refugio para multitud de aves acuáticas y para diversos microinvertebrados.

### **Comunidades de heterótrofos II: Zooplancton y meiobentos.**

Si comparamos las muestras obtenidas de microinvertebrados observamos que encontramos copépodos, rotíferos y cladóceros en los tres lagos, mientras que solo observamos ostrácodos y algún anélido en la laguna de El Raso, moluscos en la del campillo y anostráceos en el embalse de Santillana.

Los organismos más comunes encontrados en las lagunas son según lo muestreado (Tabla 3): copépodos, cladóceros y rotíferos, todos seres habituales en la teoría de sistemas lenticos. La poca variedad de organismos puede ser debida al aislamiento geográfico, que impediría una gran diversidad de especies (Velasco et al. 1998).

Las comunidades de heterótrofos de aguas dulces por tanto muestran visibles adaptaciones al medio acuático y está formado por una amplia gama de familias de microinvertebrados, aunque representado en nuestro muestreo por un número más reducido de lo esperado.

Los copépodos es el grupo de animales que forman el zooplancton con mayor éxito evolutivo, constituye alrededor del 50% de la biomasa de este zooplancton. Poseen numerosas especies que colonizan todo tipo de hábitats. La alimentación de los copépodos es bastante variada, las especies planctónica se alimentan básicamente de fitoplancton, también hay especies carnívoras, parásitas de peces y detritívoras.

El éxito evolutivo de estos crustáceos se refleja en las muestras obtenidas, ya que en la laguna de El Raso encontramos calanoides, harpacticoides y cyclopoides, de los dos primeros se encontraron muchos ejemplares, también se encontraron calanoides y harpacticoides en la laguna del Campillo y calanoides y cyclopoides en el

embalse de Santillana. Tanto los calanoides como los cyclopoides son planctónicos mientras que los harpacticoides son bentónicos.

Los cladóceros son muy abundantes en aguas estancadas, siendo frecuentes en lagos y las zonas de los ríos con corrientes lentas. Este orden ocupa muchos tipos de ambientes de agua dulce siendo importantes en zonas con mucha vegetación. En las muestras de los tres sistemas se encontraron estos crustáceos.

Los ostrácodos son crustáceos bivalvos de pequeño tamaño frecuentes en aguas estancadas, en particular en las aguas más someras, no suelen formar parte del plancton, siendo organismos más abundantes en el meiobentos. Este tipo de crustáceos solo se encontró en la laguna de El Raso, posiblemente por el hecho de que es un sistema con menor profundidad que los otros dos, poseyendo así unas condiciones mejores para estos animales mejor adaptados a aguas someras.

Los rotíferos son animales microscópicos que pueden formar parte del plancton aunque también hay muchas especies sésiles que forman parte del bentos. Son muy importantes en las aguas continentales debido a su alta tasa reproductora y a que colonizan rápidamente nichos vacantes. Son bastante tolerantes a diferentes grados de varios factores físico-químicos muchos de ellos pudiendo vivir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Esta importancia en las aguas continentales se ve reflejada en las muestras ya que se encontraron individuos en los tres sistemas acuáticos estudiados.

## Bibliografía

- ALBA-TERCEDOR, J., SÁNCHEZ-ORTEGA, A. 1988. Un método rápido y simple de evaluar la calidad de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica* 4: 51-56
- CALVO, D., MOLINA, MT., SALVACHÚA, J. 2004. *Ciencias de la Tierra y Medioambientales*. Editorial Mc Graw Hill. 436 pp.
- COBELAS, MA., RÍOLOBOS, P. HIMI, Y., SÁNCHEZ, S., GARCÍA-AVILÉS, J., HIDALGO, J. 2000. *Estudio físico-químico de los ambientes estancados del Parque Regional del Sureste de la Comunidad de Madrid*. Consejería de Medio Ambiente.
- IZCO, J. 1984. *Madrid Verde*. Instituto de estudios agrarios, pesqueros y alimentarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid
- PARDOS *et al.*, 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica* 21: 115-133
- PLATAFORMA JARAMA VIVO, 2001. Informe sobre el río Jarama.
- PROTOCOLO DE MUESTREO DE FITOPLANCTON EN LAGOS Y EMBALSES. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Código: M-LE-FP-2011

- ROBLAS, N. Y GARCÍA-AVILÉS, J. 1997. *Valoración ambiental y caracterización de los sistemas acuáticos leníticos del Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama*. Centro de Investigaciones Ambientales de la Comunidad de Madrid "Fernando González Bernáldez". Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional. Madrid
- SOLÀ, M.A., PRAT, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua* 175:20-39
- STRAHLER, AH. 1982. *Geografía física*. Omega. Barcelona.
- SUÁREZ P., YUSTOS, JL., IZQUIERDO, JA. 1993. *El Río Jarama*. Editado por COMADEN
- SEGNINI, SAMUEL. *El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente*. Universidad de los Andes, Laboratorio de Insectos. Venezuela. Artículo publicado en *Ecotrópicos* 16 (2): 45-63. 2003.
- GUIÓN DE PRÁCTICAS DE LIMNOLOGÍA, curso 2011-2012. Autores: Domingo Baeza, Carmen Casado y Paloma Alcorlo. Dpto de Ecología, Universidad Autónoma de Madrid.
- PUJANTE, AM. 1997. *Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas*. Bol. S.E.A., 20: 277-284
- ORGANISMOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DE LA CONTAMINACIÓN. Guadalupe de la Lanza-Espino, Salvador Hernández Pulido, José Luis Carbajal Pérez. 2000. 633pp.

DINOFLAGELADOS. Héctor Zaixso, Ileana Grimbeek. Cátedra: Ecología Acuática. Licenciatura en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Páginas web:

[www.usc.es](http://www.usc.es)

Página web de la Universidad de Santiago de Compostela

[www.chtajo.es](http://www.chtajo.es)

Confederación hidrográfica del Tajo. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

[www.directivamarco.es](http://www.directivamarco.es)

Directiva Marco.

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

Comunidad de Madrid

[www.manzanareselreal.org](http://www.manzanareselreal.org)

Ayuntamiento de Manzanares el Real

[www.moralzarzal.es](http://www.moralzarzal.es)

Ayuntamiento de Moralzarzal.

<http://sig.marm.es/saih>

Sistema automático de información hidrológica del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

[http://www.sefalgas.org/enlaces/floras/pdfs\\_floras/catalogocloros.pdf](http://www.sefalgas.org/enlaces/floras/pdfs_floras/catalogocloros.pdf)

<http://www.biodiversidadvirtual.org>