

INDICADORES BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS. APLICACION EN LA CUENCA DEL TAJO

AVILES GARCIA, J. (*)
TORO VELASCO, M. (*)

RESUMEN. La utilización de métodos biológicos en el análisis de la calidad de las aguas de los ríos proporciona resultados que integran en el tiempo las condiciones de contaminación en que se hallan sus aguas.

Varios de estos métodos, en función de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos existentes, fueron aplicados en la cuenca del Tajo en un trabajo llevado a cabo por el C.E.H. Se muestra la eficacia de cada uno de ellos, obteniéndose un mapa final de la calidad del agua en toda la cuenca.

ABSTRACT. *The employment of biological methods for the assessment of river water quality provides results which integrate the effects of pollutants throughout time.*

Several of these methods by means of the study of aquatic macroinvertebrates populations were applied in the Tajo Basin by the C.E.H. showing their efficiency. A Water Quality Map of the Tajo Basin is also given.

1. INTRODUCCION

El proceso degenerativo de los sistemas acuáticos continentales durante los últimos años, debido al incremento de los vertidos de las grandes concentraciones urbanas, industriales y agrícolas, ha contribuido a hacer de la determinación de la calidad biológica de las aguas una de las principales tareas de las investigaciones hidrológicas por parte de los organismos competentes en todos los países desarrollados, con objeto de la conservación y vigilancia de las redes fluviales.

Los organismos que viven en un determinado curso de agua tienen unas preferencias con respecto a las características físico-químicas y bióticas del ambiente en que se desarrollan. Aquellos que tienen las mismas exigencias se reúnen en asociaciones o comunidades propias de unas determinadas condiciones ambientales.

Cuando se produce una alteración en el medio, se origina un cambio en la estructura de las poblaciones que puede llegar incluso a la desaparición de la biocenosis, si la perturbación es muy grande.

2. INDICADORES BIOLÓGICOS

No todos los organismos que constituyen la fauna de un río presentan los mismos límites de tolerancia respecto a las diferentes condiciones ambientales. La distribución de las especies en los ecosistemas fluviales dependerá de las exigencias de cada una de ellas, según los facto-

res del medio y sus reacciones de competencia o tolerancia, siendo unas más estrictas en cuanto a las condiciones del medio (especies estenoicas), mientras que otras son más tolerantes a estas mismas variaciones (especies eurioicas).

La sucesión de especies a lo largo del tiempo y del espacio, da lugar al conocimiento de la evolución del estado de contaminación del agua durante un determinado período.

Los organismos vivos son pues verdaderos integradores de la calidad del agua a diferencia de los análisis físico-químicos, que son más precisos pero únicamente significativos en el momento de la toma de muestras.

3. METODOS DE DETERMINACION BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

3.1. SISTEMA DE LOS SAPROBIOS

Kolkwitz y Marsson (1908 y 1909) fueron los primeros en establecer un índice biológico y para ello prepararon listas de un gran número de especies de organismos acuáticos clasificados en categorías según las concentraciones de materia orgánica presentes en el medio en el que se hallaban. A pesar de las críticas y discusiones, este sistema se utiliza todavía con buenos resultados en la biología de las aguas residuales.

El sistema de Kolkwitz y Marsson comprende cuatro grados saprobiicos:

- Zona polysapróbica: Fuertemente contaminada.
- Zona α -mesosapróbica: Muy contaminada.

(*) Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

- Zona β -mesosapróbica: Moderadamente contaminada.
- Zona oligosapróbica: Apenas contaminada.

Para cuantificar el grado de saprobiedad se utilizan una serie de índices entre los que cabe destacar el Índice de Knöpp (1954) y el Índice de Pantle y Buck (1955).
3.1.1. Índice de Knöpp. Estudia el perfil longitudinal de la calidad de una corriente fluvial y para ello tiene en cuenta dos factores:

- Presencia de organismos indicadores.
- Abundancia de los organismos (escala de 1 a 7).

Cada especie se reparte en los cuatro grados de saprobiedad ya citados sumando los valores de la frecuencia para cada grado de saprobiedad: $\sum\alpha$, $\sum\beta$, $\sum\alpha$, $\sum\beta$.

El perfil longitudinal de la calidad del agua se representa en cada estación de muestreo llevando hacia arriba del eje de ordenadas los valores llamados positivos $\sum\alpha$, $\sum\beta$, y hacia abajo los negativos $\sum\alpha$, $\sum\beta$. Los valores de igual saprobiedad se unen entre sí obteniéndose de esta manera la sección biológica de la calidad del agua.

La pureza relativa del agua viene dada por la expresión:

$$Pr = \frac{\sum\alpha + \sum\beta}{\sum(\alpha + \beta + \alpha + \beta)} \times 100$$

La carga relativa o carga orgánica biológicamente eficaz la define Knöpp como:

$$Cr = \frac{\sum\alpha + \sum\beta}{\sum(\alpha + \beta + \alpha + \beta)} \times 100$$

3.1.2. Índice de Pantle y Buck (1955). La fórmula que representa el índice saprobico viene dado por:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h} \quad \begin{array}{l} s = \text{valencia saprobial.} \\ h = \text{valor de la frecuencia} \\ \text{de cada sp. encontrada} \end{array}$$

siendo para cada organismo:

- Polisapróbico $s = 4$.
- α -mesosapróbico $s = 3$.
- β -mesosapróbico $s = 2$.
- Oligosapróbico $s = 1$.

La calidad del agua es la siguiente:

$s \leq 1,5$	Contaminación muy débil
$1,5 \leq s < 2,5$	Contaminación moderada
$2,5 \leq s < 3,5$	Contaminación fuerte
$3,5 \leq s$	Contaminación muy fuerte

3.2. METODO DE LOS INDICES BIOTICOS

Los métodos de determinación biológica de la calidad del agua mediante los índices bióticos son hoy en día los más utilizados y se basan en el estudio de los macroinvertebrados bénticos, es decir, en aquellos organismos cuyo desarrollo larvario o estado de imago es raramente



FIGURA 1. Macroinvertebrados más comunes hallados en los muestreos.

inferior a un milímetro y viven habitualmente en la superficie o en los primeros centímetros del sedimento, comprendiendo las larvas de insectos, hiruineos, triclados, moluscos, crustáceos y oligoquetos que habitan en los lechos de los ríos (figura 1).

El fundamento del método se basa en la presencia o ausencia de las diferentes especies en cada tramo del río estudiado en función de la carga contaminante existente y la tolerancia de cada una a la misma.

3.2.1. Trent Biotic Index (T.B.I.) (Woodiwiss, 1964). Es un método práctico muy utilizado y en el que se han inspirado muchos otros autores. Se basa en el estudio de la comunidad de macroinvertebrados del río Trent según un orden decreciente de sensibilidad a la contaminación orgánica: *Plecoptera*, *Ephemeroptera*, *Trichoptera*, *Gammarus*, *Asellus* y *Tubificidos*.

Debido a la dificultad que presentaba la determinación sistemática a nivel de especie, se establecieron experimentalmente los límites de precisión según los casos: familia, género o especie. Estos límites se definieron como «Unidades sistemáticas».

El cálculo del índice biótico se efectúa mediante el empleo de una tabla estándar de doble entrada. Las aguas más puras tienen un índice biótico próximo a 10 y las que presentan una contaminación excesiva se acercan a 0.

En 1978 Woodiwiss realizó una nueva versión del método con una mayor amplitud de escala de 0 a 15.

3.2.2. Índice de Verneaux-Tuffery (1967). Este método es utilizado en Francia y tiene una estructura análoga al anterior, con alguna variante accesoria.

El estudio se efectúa en dos facies del cauce. La facies lítica correspondiente a las zonas de corriente rápida, y la facies léntica con aguas de corriente débil ($< 15 \text{ cm/sg}$), obteniéndose un índice para cada una ($I_e =$ lítica; $I_l =$ léntica), hallándose el índice medio de ambas:

$$I_b = \frac{I_e + I_l}{2}$$

A partir de este índice de contaminación se establecen cinco clases de calidad del agua. A cada clase le corresponde un grado de contaminación y un color de calidad.

El método fue experimentado por los autores en diversos ríos de Francia (Doubs, Loira, Isere, Drac...) con gran éxito, pues tiene la ventaja de poder detectar las descargas intermitentes de vertidos, debido a la estabilidad de la fauna del lecho a lo largo de un periodo de tiempo.

3.2.3. Biological Monitoring Working Party (BMWP). Este índice está basado en la identificación de familias. A cada familia se le da un valor comprendido entre 1 y 10.

El valor 1 comprende familias que tienen sus hábitats en aguas muy contaminadas y el valor 10 a familias que no toleran la contaminación. La suma de los valores obtenidos de cada familia nos dará el grado de contaminación. Cuanto mayor sea la suma obtenida, menor será la contaminación del punto estudiado.

El Índice de Alba (BMWP') es similar al BMWP, pero introduce familias de macroinvertebrados que no estaban incluidas y que son corrientes en la Península Ibérica.

4. APLICACION A LA CUENCA DEL TAJO

Entre 1989 y 1990 el CEDEX ha realizado el estudio «Indicadores biológicos en la cuenca del Tajo» con obje-

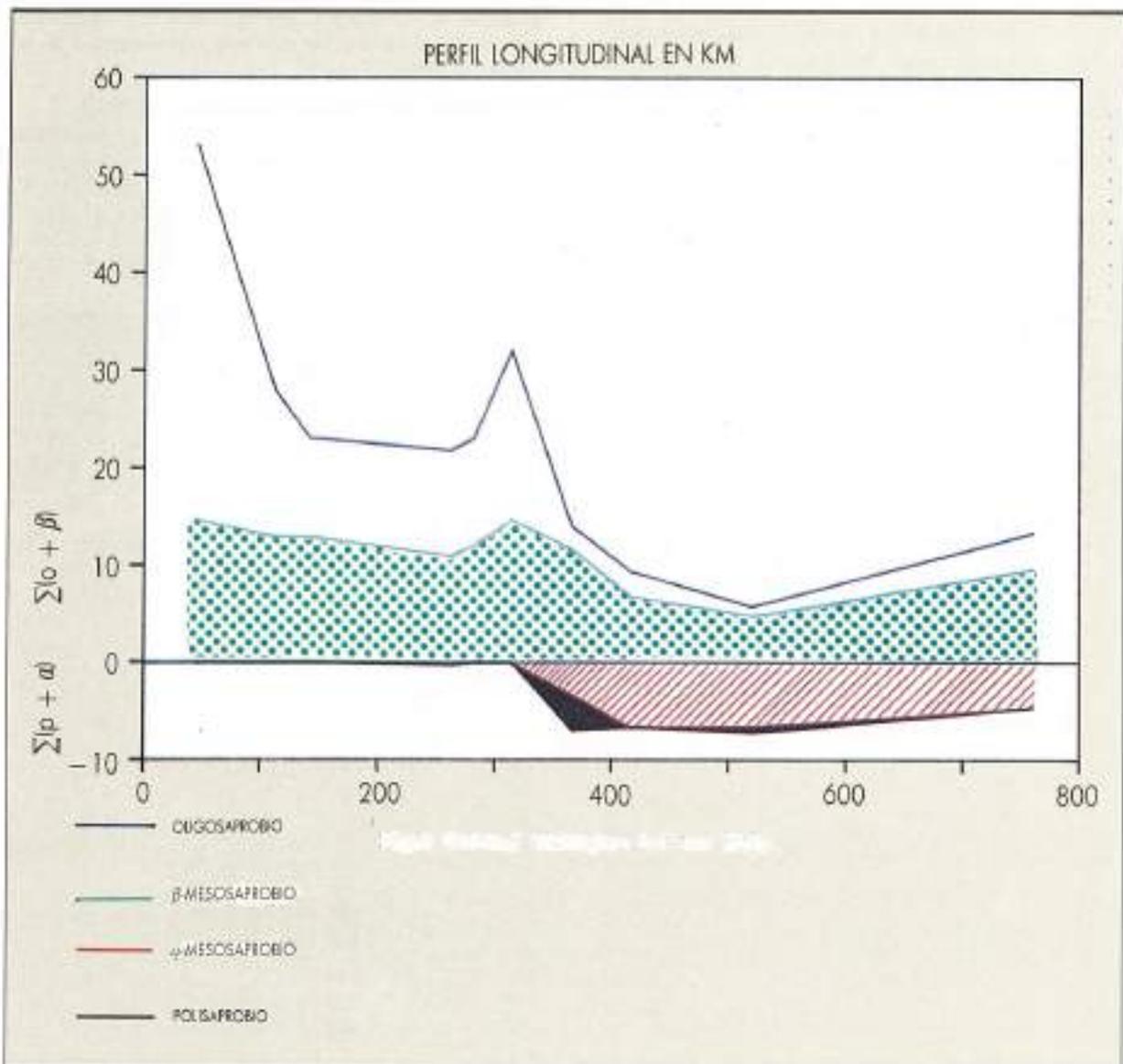


FIGURA 2. Calidad biológica del río Tajo.

- Cabrillas	- Cañamares	- Tajuña
- Galla	- Dulce	- Manzanares
- Solado	- Bamoba	- Guadarrama
- Jarama	- Sorbe	- Aulencia
- Henares	- Torote	- Alberche
- Tiáror	- Arago	- Algodar
- Alagón	- Guadiela	- Almonte
- Cuerpo Hombre	- Escabas	- Salor
- Jene	- Trabaque	- Tajo
- Ladrillar	- Guadarejud	

TABLA I. Listado de los ríos muestreados.

to de conocer el estado actual de la calidad de las aguas de los ríos.

Para ello se seleccionaron en los principales ríos de la cuenca (tabla I) distintos puntos de muestreo coincidentes en su mayor parte con los de la Red Básica de Vigilancia del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, efectuándose los muestreos en las cuatro estaciones del año en los ríos más importantes. Las estaciones de muestreo se han situado en las zonas de cabecera, medias y bajas de cada río tras realizar una prospección de toda la cuenca (afluencia de vertidos, variaciones de las condiciones físico-químicas, accesibilidad, etc.) que permitiese elegir los puntos más idóneos.

4.1. SISTEMA DE LOS SAPROBIOS EN LA CUENCA DEL TAJO

El estadio saprobico de la cuenca del Tajo es en su mayoría orientativo, ya que las listas utilizadas se refieren a especies europeas y están basadas en la experiencia de los autores. En España apenas si existen estos inventarios, necesarios para un perfecto encuadramiento de las especies en las diferentes condiciones geográficas y ambientales que se dan en la Península.

En la figura 2 se observa una aplicación del sistema de los saprobios al río Tajo, denotándose un progresivo empeoramiento de la calidad del agua a medida que se desciende por su curso, mejorando ligeramente en su tramo final dentro del territorio español. Este empeoramiento es más manifiesto al recibir los aportes de los afluentes de su margen derecha, Jarama y Guadarrama, siendo estos dos los ríos más contaminados de la cuenca (figura 4).

4.2. INDICES BIOTICOS EN LA CUENCA DEL TAJO

El empleo de los índices bióticos citados ha permitido elaborar unos mapas biológicos de calidad del agua en la cuenca según los valores medios de los índices (figura 3), otorgando a cada clase de calidad un color representativo. En general se observan tramos de condiciones ambientales aceptables en las cabeceras de todos

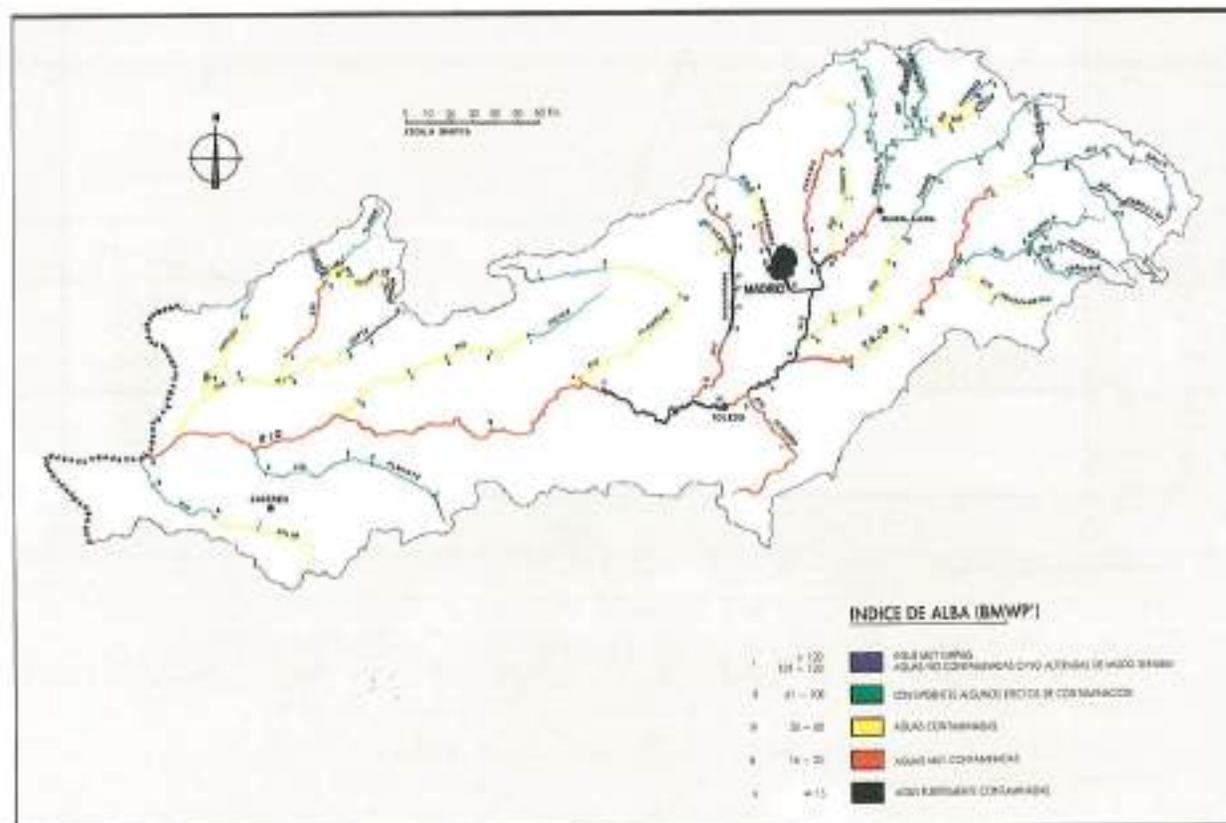


FIGURA 3. Mapa de calidad biológica de la cuenca del Tajo.



FIGURA 4. Kilómetros totales estudiados.

los ríos (Clases I y II), con algunas excepciones (Río Cuerpo de Hombre), empeorando a medida que se avanza aguas abajo.

En la figura 5 se representa la proporción de las distintas clases de calidad según el índice de ALBA para los principales ríos de la cuenca, destacando entre todos en

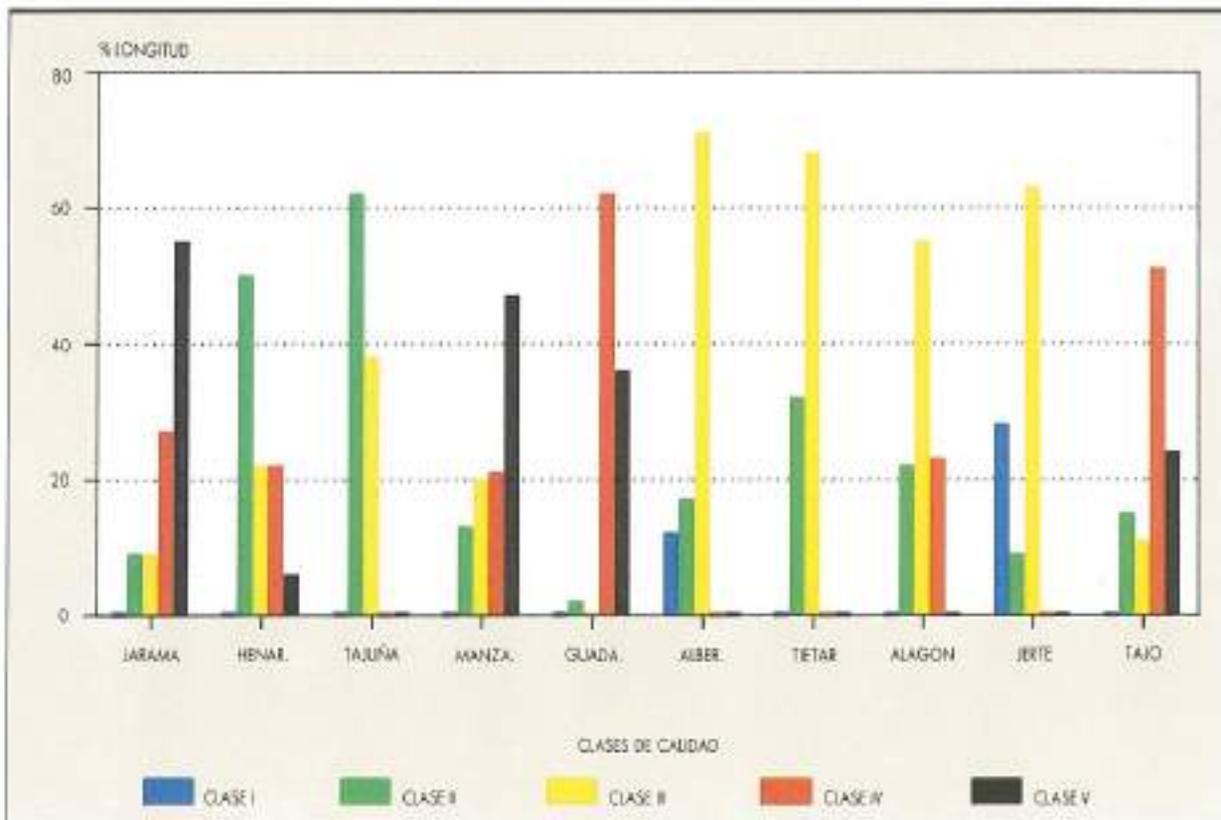


FIGURA 5. Clases de calidad de los ríos.

su aspecto negativo el río Guadarrama, con más del 90 % de su longitud con aguas con un alto grado de contaminación. Otros ríos, Tietar, Tajuña o Jerte, mantienen en condiciones relativamente aceptables sus aguas hasta la desembocadura.

5. CONCLUSIONES

El índice de Alba parece ser el más óptimo y fiable para su aplicación a la cuenca del Tajo por la facilidad de identificación de los organismos a nivel de familia y la mayor correlación encontrada con respecto a otros índices entre los parámetros biológicos y los físico-químicos obtenidos.

De los casi 3.500 km de cuenca estudiados, se observa que la tercera parte corresponden a aguas muy contaminadas o fuertemente contaminadas. En la figura 4 se destacan aquellos ríos que contribuyen a una mayor contaminación de la cuenca correspondiéndose con aquellas zonas de mayores densidades de población e industriales, y por tanto, con un mayor número de vertidos y alteraciones en los cauces.

Los resultados conseguidos en el trabajo apoyan el uso de los métodos biológicos de reconocimiento de la calidad de las aguas de las cuencas como técnicas limnológicas eficaces que aportan una visión global e integradora en el tiempo de la situación y estado de la contaminación de las aguas.

BIBLIOGRAFIA

- CHANDLER, J. R. (1970). A biological approach to water quality management. *Wat. Poll. Control*.
- G. DEL TANAGO, M., y G. DE JALON, D. (1979). Estudio sobre la fauna de macroinvertebrados de los ríos Cigüela, Záncara y Córcoles. *Bol. Est. Cent. Ecología*. Vol. 8, n.º 15.
- G. DEL TANAGO, M., y G. DE JALON, D. (1986). Métodos biológicos para el estudio de la calidad de las aguas. ICONA.
- IRIBAR, J. (1979). Estudio biológico de los ríos guipuzcoanos. *Bol. n.º 255 del MOPU*.
- PANTLE, R. y BUCK, H. (1955). *Die Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse*. Gas- u. Wasserfach, 96:604.
- PESSON, P. (1979). La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundiprensa.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1908). Oekologie der pflanzlichen Saprobien. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 26a, 505-519.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1909). Oekologie der tierischen Saprobien. *Int. Rev. Hydrobiologie u. Hydrographie*. 2, 126-152.
- TACHET, H.; BOURNAUD, M., y RICHOUX, Ph. (1980). Introduction a l'étude des macroinvertebres des eaux douces. *Association Française de Limnologie*.
- VERNEAUX, J., y TUFFERY, G. (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Annals scient. Univ. Besançon. Zoologie*.
- WOODIWISS, F. (1964). The biological system of stream classification used by the Trent Board. *Chemistry and Indust.*

SAINCO Ingeniería dedicada al Desarrollo e Instalación de Sistemas Electrónicos e Informáticos



SISTEMAS DE SUPERVISION Y CONTROL PARA APLICACIONES DE AGUA

Gestión de Recursos Hidráulicos.

Control de la Distribución.

Telemedida de Parámetros Hídricos.

Seguridad y Fiabilidad en los Abastecimientos.

Regulación de E.T.A.P. y E.D.A.R.

SAINCO

DIVISION DE SISTEMAS

MADRID:
Aravaca, 24
28040 MADRID
Tif.: 91-535 15 00
Télex: 47755 SNCE
Fax: 91-534 45 29

SEVILLA:
Jiménez Aranda, 6
41018 SEVILLA
Tif.: 95-453 23 18
Télex: 72953 SNCSE
Fax: 95-453 48 58