



Master Oficial

**Agua. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible**

Universitat de Barcelona

**Trabajo de Investigación**

Curso 2010/2011

# **IBCAEL. Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos**

Alumno: Tania Jiménez Palomar

Trabajo dirigido por: Miguel Alonso

Tutor: Joan Armengol

Barcelona, 20 de junio de 2011



Master Oficial: **Agua. Análisis Interdisciplinario y Gestión Sostenible**

**Título del proyecto: IBCAEL. Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos**

Alumna: Tania Jiménez Palomar

Director del proyecto: Miguel Alonso García-Amilivia

Tutor: Joan Armengol Bachero

Centro: Universitat de Barcelona

Trabajo de Investigación

Curso 2010/2011

Firma del director

Firma del tutor

Firma de la alumna

En Barcelona a 20 de junio de 2011

<b><u>Abstract</u></b>	<b>4</b>
<b><u>Resumen</u></b>	<b>4</b>
<b><u>Introducción y objetivos</u></b>	<b>5</b>
<b><u>Material y métodos</u></b>	<b>6</b>
Tipología de lagos y área de estudio	8
Adaptación del índice QAELS a todos los tipos de lagos españoles	14
Agrupación de lagos y asimilación a las tipologías IPH	15
Asignación de valores de calidad	17
Establecimiento de las condiciones de referencia	19
Establecimiento de los valores frontera entre clases de estado ecológico	19
Validación del índice IBCAEL	20
<b><u>Resultados</u></b>	<b>20</b>
Elaboración de la matriz de trabajo	20
Agrupación de las tipologías: Análisis de <i>Clustering (K-means)</i>	21
Asimilación a los tipos IPH	25
Asignación de Valores de Sensibilidad	27
Establecimiento de las Condiciones de Referencia	30
GCA4 y GCA7:	30
GCA1, GCA2, GCA3, GCA 5, GCA 6, GCA 8 y GCA 9 (resto de grupos)	30
Establecimiento de valores frontera entre clases de estado ecológico de la DMA	33
Niveles frontera de GCA4 y GCA7	33
Niveles frontera de GCA1, GCA2, GCA3, GCA5, GCA6, GCA8 y GCA9 (resto de grupos)	33
Cálculos previos comunes a todos los grupos:	34
Establecimiento de los valores frontera	34
Resumen de los resultados	36
Validación del índice IBCAEL	41
<b><u>Discusión</u></b>	<b>42</b>
<i>El objetivo propuesto. que consistía en elaborar una métrica para evaluar el estado ecológico de las masas de agua superficial de la categoría lago en España, conforme al elemento de calidad biológica “composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados” se ha alcanzado. En el futuro, el índice IBCAEL puede admitir ajustes derivados del incremento de datos disponibles.</i>	42
<b><u>Conclusiones</u></b>	<b>42</b>
<b><u>Bibliografía</u></b>	<b>44</b>
<b><u>Anexo I: Protocolo de muestreo de invertebrados bentónicos en lagos</u></b>	<b>47</b>
<b><u>Anexo II: Hoja de campo IBCAEL</u></b>	<b>59</b>

## **Abstract**

For surface waters the overall aim of the Water Framework Directive (2000/60/EC) is for Member States to achieve “good ecological status” and “good surface chemical status” in all bodies of surface water by 2015. The WFD requires surface water classification through the assessment of ecological status or ecological potential, and surface water chemical status. WFD Annex V, explicitly defines the quality elements that must be used for the assessment of ecological status /potential. This paper proposes IBCAEL index to assessment the biological quality element "Composition and abundance of benthic invertebrate fauna" in the water bodies of lake typology at Spain. To carry out this research 360 benthic invertebrates checklists from 128 water bodies, between 2006 and 2009 has been used. Spanish Lakes were grouped into 9 IBCAEL groups of which value indicator taxa, scores and set the reference conditions were found. Finally, boundary values were established for each group according to the standards provided by the WFD.

**Key words:** Water Framework Directive, IBCAEL, crustacea, copepoda, ostracoda, benthic macroinvertebrates, lake.

## **Resumen**

El objetivo general de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) es lograr el “buen estado ecológico” y el “buen estado químico” de todas las masas de agua superficial en todos los Estados miembros en el 2015. Para ello, la DMA requiere la clasificación de las masas de agua superficial a través de la evaluación del estado ecológico o potencial ecológico y el estado químico. En el Anexo V de la DMA se definen los indicadores de calidad que deben de ser utilizados para la evaluación del estado/ potencial ecológico. En este trabajo se propone el índice IBCAEL para evaluar el elemento de calidad biológica “Composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados” en las masas de agua de la tipología lago en España. Para la elaboración del presente estudio se contó con 360 inventarios de invertebrados bentónicos procedentes de 128 masas de agua, entre los años 2006 a 2009. Los lagos españoles se agruparon en 9 grupos IBCAEL de los cuales se hallaron los taxones con valor indicador y sus puntuaciones, y se establecieron las condiciones de referencia. Finalmente, se establecieron los valores frontera para cada grupo según los niveles de calidad requeridos por la DMA.

**Palabras clave:** Directiva Marco del Agua, IBCAEL, crustáceos, copépodos, ostrácodos, macroinvertebrados bentónicos, lago.

## **Introducción y objetivos**

En la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, conocida como Directiva Marco del Agua (en adelante DMA) se establece el marco comunitario para la protección y gestión de las aguas (superficiales, continentales, de transición, costeras y subterráneas). Esta Directiva tiene varios objetivos, concretamente la prevención y la reducción de la contaminación, la promoción del uso sostenible del agua, la protección del medio ambiente, la mejora de la situación de los ecosistemas acuáticos y la atenuación de los efectos de las inundaciones y de las sequías. Su objetivo último es alcanzar un “buen estado” ecológico y químico de todas las aguas comunitarias para el 2015.

Según la Instrucción de Planificación Hidrológica (en adelante, IPH) el “buen estado ecológico” es el estado de una masa de agua superficial cuyos indicadores de calidad biológicos muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, desviándose sólo ligeramente de los valores normalmente asociados a condiciones inalteradas en el tipo de masa correspondiente (BOE, 2008).

Para alcanzar este objetivo, es necesaria una evaluación del estado ecológico de las masas de agua para poder determinar si éstas cumplen con los objetivos de la DMA, o en caso contrario, si se requieren o no medidas de gestión. De acuerdo con la DMA, la evaluación ha de permitir la clasificación de las masas de agua en cinco niveles de calidad (muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo) y la asignación a un nivel u otro de calidad determinará la gestión a realizar. Para ello, es indispensable elaborar sistemas de clasificación del estado ecológico de dichas masas de agua.

Una vez definidos los sistemas de clasificación del estado ecológico, los diferentes estados miembros han de intercalibrar y armonizar los criterios que utilizan para esta evaluación del estado ecológico, de manera que todos los estados miembros evalúen de manera similar el estado ecológico de sus masas de agua.

El objetivo de este estudio es elaborar una métrica para evaluar el estado ecológico de las masas de agua superficiales de la categoría lago en España, conforme al elemento de calidad biológica “composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados” para ser aplicada en los próximos planes hidrológicos de cuenca.

La propuesta que se presenta en este documento ha seguido las recomendaciones que

a este respecto establece el documento sobre condiciones de referencia y clasificación del estado ecológico (CIS Working Group 2.3 – REFCOND, 2005), y ha tenido en consideración los trabajos previos que a este respecto se han realizado tanto en nuestro país (ACA,2004; ACA, 2006; Boix *et al.* 2004; Boix *et al.*, 2005; Boix *et al.*, 2010; CEDEX, 2008; CEDEX, 2009; CEDEX, 2010; MMA, 2005) como en otros de la Unión Europea y Estados Unidos (Central Baltic Lake GIG, 2005; CIS Guidance Document, 2003; CIS Working Group 2A, 2003; Mediterranean Lake GIG, 2007; EPA, 2000).

### **Material y métodos**

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo es elaborar una métrica para evaluar el estado ecológico de las masas de agua superficiales de la categoría lago en España conforme al elemento de calidad biológica “composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados” para ser aplicada en los próximos planes hidrológicos de cuenca.

La fauna bentónica de invertebrados en los lagos es notablemente diversa. Parte de los grupos coinciden con los que aparecen en ríos (insectos, moluscos, anélidos...), pero posee además otros prácticamente exclusivos, que son los que, para este tipo de ambientes leníticos, poseen mayor valor indicador; éstos son los branquiópodos, los copépodos y los ostrácodos. El precedente en nuestro país que considera estos grupos además del resto de invertebrados es el índice QAELS (Qualitat de l’Aigua d’Ecosistemes Lenítics Soms) establecido para Cataluña por la Agencia Catalana del Agua (ACA). Éste se basa en la diversidad de invertebrados y en las puntuaciones que éstos obtienen en cuanto a su valor indicador. Este índice fue elaborado por el Institut d’Ecologia Aquàtica de la Universitat de Girona en 2004 (Boix *et al.*, 2004; Boix *et al.*, 2005) y revisado en 2010 (Boix *et al.*, 2010) con el fin de adaptarlo a las directrices de la DMA tras el proceso de intercalibración con otros países mediterráneos.

Este índice fue diseñado para dos tipos de masas de agua en Cataluña, ambas someras, influenciadas por el clima mediterráneo y de agua dulce, una temporal y otra permanente. Al tratarse de un índice muy práctico y robusto, se decidió utilizarlo como base para la elaboración del presente trabajo.

Las comunidades de invertebrados bentónicos y en particular los branquiópodos, copé-

podos y ostrácodos tienen unas propiedades que los hacen idóneos para su uso en la evaluación de la calidad del agua de los lagos:

- Están presentes en todas las tipologías de las masas de agua de la categoría lago;
- Responden a las perturbaciones del hábitat
- Presentan un ciclo cerrado en los ambientes acuáticos y
- Su taxonomía se encuentra razonablemente bien establecida

La abundancia de cada especie y su valor indicador permite obtener un índice capaz de evaluar la calidad del agua a partir de este elemento biológico. Por otro lado, la riqueza de especies y la diversidad de la comunidad bentónica, son parámetros considerados habitualmente en las métricas utilizadas para la evaluación de calidad del agua de los ecosistemas acuáticos.

El índice QAELS combina dos índices que evalúan la calidad del agua: el índice ACCO (Abundància de Copèpodes, Clacòcers i Ostràcodes) lo hace mediante las especies indicadoras de cladóceros, copépodos y ostrácodos mientras que el índice RIC (Riquesa d'Insectes i Crustacis) modula este resultado a través de la riqueza taxonómica de la comunidad bentónica de insectos y crustáceos. El cálculo del índice QAELS se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$QAELS = (ACCO+1) * \log(RIC+1) \quad 0 \geq QAELS \leq 15$$

El índice ACCO (Abundancia de Cladóceros, Copépodos y Ostrácodos) valora la estructura y composición de las asociaciones de microcrustáceos. Cada especie indicadora de buena o mala calidad del agua para cada tipo de humedal, tiene asignado un valor indicador. El valor del ACCO se calcula del siguiente modo:

$$ACCO = \sum_{i=1}^j ki \times ni \quad ni = Ni \div N_{tot} \quad 0 \geq ACCO \leq 10$$

donde:

i = taxones indicadores

ni = abundancia relativa del taxón i

j = número de taxones indicadores

Ni = abundancia del taxón i

ki = valor de calidad del taxón i

N<sub>tot</sub> = suma de la abundancia de los taxones indicadores

Puesto que para el cálculo del índice *ACCO* solo se tienen en cuenta los taxones indicadores, puede tener valor 0 si se da el caso que en un humedal no se identifique ninguno de los taxones con valor indicador para ese tipo.

El índice *RIC* valora la riqueza taxonómica de insectos y crustáceos del conjunto de la comunidad bentónica de un modo simplificado. Se calcula mediante la suma siguiente:

$$RIC = N^{\circ} \text{ géneros de crustáceos} + N^{\circ} \text{ géneros de formas adultas de coleópteros y heterópteros} + N^{\circ} \text{ familias de larvas y pupas de insectos}$$

$$0 \geq RIC \leq 40^1$$

### Tipología de lagos y área de estudio

Como se ha mencionado con anterioridad, el ámbito del presente estudio son las masas de agua superficiales de la categoría lago en España, definidas en el documento CEDEX (2008).

En España, según la IPH (Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre) existen 30 tipologías de masas de agua de la categoría lago, las cuales se muestran en la Tabla 1. La clasificación en un determinado tipo se basa en los valores que presenten para cada masa de agua en condiciones naturales las variables que definen la tipología, reflejadas en la tabla 39 del anexo II de la IPH (BOE, 2008).

Tabla 1: Tipos de lagos y denominación de éstos.

TIPOLOGÍA IPH	DENOMINACIÓN
1	Alta montaña septentrional, profundo, aguas ácidas
2	Alta montaña septentrional, profundo, aguas alcalinas
3	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas
4	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas alcalinas
5	Alta montaña septentrional, temporal

<sup>1</sup> Según comunicación personal del Dr. D. Boix, es difícil establecer un valor máximo para el índice *RIC*. En el conjunto de datos disponibles y según bibliografía consultada (Boix *et al.*, 2010) el valor máximo observado para este índice ha sido *RIC* = 29, pero podría ser mayor, incluso hasta 40.



**Tabla 1: Tipos de lagos y denominación de éstos.**

<b>TIPOLOGÍA IPH</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
6	Media montaña, profundo, aguas ácidas
7	Media montaña, profundo, aguas alcalinas
8	Media montaña, poco profundo, aguas alcalinas
9	Alta montaña meridional
10	Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico
11	Cárstico, calcáreo, permanente, surgencia
12	Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertínico
13	Cárstico, calcáreo, temporal
14	Cárstico, evaporitas hipogénico o mixto, grande
15	Cárstico, evaporitas hipogénico o mixto, pequeño
16	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, permanente
17	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, temporal
18	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media, permanente
19	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media, temporal
20	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, permanente
21	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, temporal
22	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, permanente
23	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, temporal
24	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización baja o media
25	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización alta o muy alta
26	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo meandro abandonado
27	Interior en cuenca de sedimentación, asociado a turberas alcalinas
28	Lagunas litorales sin influencia marina

**Tabla 1: Tipos de lagos y denominación de éstos.**

TIPOLOGÍA IPH	DENOMINACIÓN
29	Litoral en complejo dunar, permanente
30	Litoral en complejo dunar, temporal

La información para la elaboración del presente estudio consiste en series de inventarios de invertebrados bentónicos que se obtuvieron principalmente de las redes de control biológico de las Confederaciones Hidrográficas del Cantábrico (CHC), Duero (CHD), Ebro (CHE), Guadiana (CHG), y Miño-Sil (CHMS), y de la Agencia Andaluza del Agua (AAA) y la Agencia Catalana del Agua (ACA) entre los años 2006 y 2009. Esta información se completó con inventarios procedentes del trabajo “Las lagunas de la España peninsular” (Alonso, 1998), especialmente para las tipologías de las cuales no se disponía de datos en las redes de control biológico. En la Tabla 12 se muestran las localidades de procedencia de los inventarios utilizados en el estudio.

**Tabla 2: Listado de las masas de agua de la categoría “lago”, cuyos datos han sido utilizados en estos trabajos.**

TIPOLOGÍA IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA (PROV)
1	CHE	20299	Embalse Bajo de Pecico (HU)
		20781	Embalse de Arriel Alto (HU)
		20800	Embalse de Brazato (HU)
		20796	Embalse de Respumoso (HU)
		20300	Embalse de Tramacastilla (HU)
		20801	Estany de Cavallers (L)
		-----	Estany de Saboredo 2 (de Miei) (L)
		20780	Estany de Sant Maurici (L)
		20276	Estany de Travessany (L)
		20777	Estany Gento (L)
	20289	Estany Negre (Boí) (L)	
	20303	Estany Negre (Cavallers) (L)	
	-----	Estany Negre (Espot) (L)	
	CHE	20314	Estany Neriolo (L)

**Tabla 2: Listado de las masas de agua de la categoría “lago”, cuyos datos han sido utilizados en estos trabajos.**

TIPOLOGÍA IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA (PROV)	
1		20784	Estany Superior de Saboredo (L)	
		20787	Estany Tort de Rius (L)	
		20285	Ibón de Cregüeña (HU)	
		-----	Ibón del Escalar (HU)	
		-----	Ibón de Batiselles (HU)	
		-----	Ibón Inferior de Brazato (HU)	
		20779	Lac de Rius (L)	
		20782	Lago de Urdiceto (HU)	
		20293	Laguna Larga (BU)	
		20312	Laguna Negra (BU)	
		20771	Estany Romedo de Baix (L)	
		CHD	20863	Laguna del Barco (AV)
			-----	Laguna Grande de Babia (LE)
2	CHE	20783	Embalse de Ip (HU)	
		-----	Estany Gran de Mainera (L)	
		-----	Lago de Marboré (HU)	
	CHC	20765	Lago del Valle (O)	
		20164	Lago Negro (O)	
3	CHE	-----	Cabidornats (Complejo lagunar del Aigua Moix) (L)	
		-----	Embalse de Bachimaña alto (HU)	
		-----	Estany de Saboredo 3 (de Naut) (L)	
		-----	Gran de Colieto (Complejo lagunar de la Noguera de Tor) (L)	
		-----	Ibón de Anayet (HU)	
		-----	Ibón de Astún (HU)	
		-----	Ibón de l'Aigüeta de Batiselles (HU)	
		-----	Ibón Superior de Brazato (HU)	
	CHD	-----	Lago Ausente (LE)	
		-----	Fuentes Carrionas (PA)	
		-----	Lago de Isoba (LE)	
		20409	Laguna de Lacillos (ZA)	
		20408	Laguna del Sotillo (ZA)	

**Tabla 2: Listado de las masas de agua de la categoría “lago”, cuyos datos han sido utilizados en estos trabajos.**

TIPOLOGÍA IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA (PROV)
		20406	Laguna Grande de Gredos (M)
		20312	Laguna Negra (BU)
4	CHE	-----	Estany de Filià (L)
6	CHD	20407	Lago de Sanabria (ZA)
7	CHC	20412	Lago Enol (O)
8	CHC	20413	Lago de Ercina (O)
10	CHE	-----	Cernégula (BU)
		-----	Estany Gran de Basturs (L)
	CHC	20414	Pozón de la Dolores (S)
11	CHE	-----	Estany Petit Basturs (L)
12	CHG	20390	Laguna Batana (AB)
		20397	Laguna Concejo (AB)
		20387	Laguna de Cueva Morenilla (CR)
		20386	Laguna de la Coladilla (CR)
		20388	Laguna de la Colgada (CR)
		20392	Laguna de Lengua (AB)
		20394	Laguna de San Pedro (AB)
		20391	Laguna de Santos Morcillo (AB)
		20395	Laguna de Tinaja (AB)
		20396	Laguna de Tomilla (AB)
		20399	Laguna del Rey (CR)
		20389	Laguna Salvadora (AB)
20393	Laguna Redondilla (AB)		
14	ACA	20271	Lago de Banyoles (GE)
15	CHE	20308	Estanque Grande de Estanya (HU)
		20321	Estany de Montcortés (L)
		20313	Lago Arreo (VI)
16	CHE	-----	Laguna de Guialguerrero (Z)
		-----	Estanca el Gancho (Z)
		20328	Laguna Honda (GU)
	CHD	-----	Laguna de Cantalejo (SE)

**Tabla 2: Listado de las masas de agua de la categoría “lago”, cuyos datos han sido utilizados en estos trabajos.**

TIPOLOGÍA IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA (PROV)
		-----	Laguna de Cristo (SA)
		-----	Laguna Grande de Bercianos (LE)
18	CHE	20789	Balsa de Pulguer (NA)
		20790	La Estanca de Alcañiz (La Estanca) (TE)
		20287	Laguna de la Estanca (Z)
		20797	Laguna de Lor (NA)
		20785	Pantano de las Cañas (NA)
19	CHD	20865	Laguna de Boada (P)
		-----	Laguna de La Rosa (ZA)
	CHG	20398	Laguna de Caracuel (CR)
		20383	Laguna del Taray de las Pedroñeras (CU)
20	CHE	20311	Laguna de Pitillas (NA)
21	CHG	20404	Laguna Grande de Villafranca (TO)
		-----	Laguna Grande Malagón (CR)
		-----	Laguna Grumosa Villacañas (TO)
		20374	Laguna de El Hito (CU)
		20388	Laguna de la Colgada (CR)
		20380	Laguna de Manjavacas (CU)
		20379	Laguna de Sánchez Gómez (CU)
		20405	Laguna del Prado o Inesperada (CR)
		20402	Laguna Larga (TO)
		-----	Laguna Larga de Villacañas (TO)
		-----	Laguna del Prado de Villacañas (TO)
		-----	Laguna Retamar (CR)
	CHD	-----	Laguna de Villarín (ZA)
		20862	Laguna de Salinas (ZA)
		20861	Laguna de Salina Grande (ZA)
		20860	Laguna de Barillos (ZA)
	CHE	-----	Laguna de Caballo de Alba (SE)
		20295	Laguna de Carravalseca (VI)
		20286	Laguna de Gallocanta (Z)

**Tabla 2: Listado de las masas de agua de la categoría “lago”, cuyos datos han sido utilizados en estos trabajos.**

TIPOLOGÍA IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA (PROV)
		20773	Laguna de Sariñena <sup>2</sup> (HU)
22	CHE	20292	Laguna Salada de Chiprana (Z)
23	AAA	20362	Laguna de Fuente de Piedra (MA)
	CHG	20401	Laguna Grande (TO)
		20384	Laguna de Alcahozo (CR)
		20378	Laguna de Salicor (CR)
		20382	Laguna del Camino de Villafranca (CR)
	CHE	20278	Laguna de Carralagroño (A)
		20291	Laguna de la Playa (Z)
20290		Salada Grande o Laguna de Alcañiz (TE)	
24	CHC	20415	Lagos de Carucedo (LE)
	CHE	20318	Encharca Salburua-Balsa de Arkaute (VI)
	CHD	20411	Laguna de La Nava (Nava de Fuentes) (PA)
25	CHG	20376	Laguna del Taray de Quero (CR)
		20661	Tablas de Daimiel (CR)
26	CHE	20774	Galacho de Juslibol (Z)
		20776	Galacho de la Alfranca (Z)
28	AAA	610030	Laguna Nueva de Adra (AL)
29	CHM-S	-----	Lagunas de Vixán (Lagunas de Corrubedo) (AC)
30	AAA	-----	Laguna Dulce de Doñana (Lagunas periduanas de Doñana) (HU)
Sin definir	ACA	20249	Tordera (B)

### **Adaptación del índice QAELS a todos los tipos de lagos españoles**

Como se ha mencionado con anterioridad, el índice QAELS se diseñó únicamente para dos categorías de masas de agua de Cataluña, ambas someras y mediterráneas (Dulces oligohalinas permanentes y Dulces oligohalinas temporales). Para estas dos categorías se adopta la propuesta especificada en el trabajo de Boix *et. al.*, (2010) y se asimilan a las tipologías IPH correspondientes.

<sup>2</sup> Dado que se encuentra en un elevado grado de alteración, y su tipología no está clara, se decide eliminarlo.

El índice, tras ser adaptado a todas las tipologías de lagos existentes en España recibe la denominación de IBCAEL con el consentimiento de los diseñadores del índice base. Para proceder a la adaptación del índice solamente es necesario adaptar el índice ACCO. El índice ACCO pasa a llamarse ACBO (Abundancia de copépodos, branquiópodos y ostrácodos) debido a que incluye además de los cladóceros, otros branquiópodos no cladóceros como son los anostráceos.

Con la finalidad de adaptar el mencionado índice, es preciso determinar la fauna indicadora de cada tipo de lago y asignar valores de calidad a los diferentes *taxa* para posteriormente poder establecer las condiciones de referencia y los valores frontera de cada nivel de calidad.

### **Agrupación de lagos y asimilación a las tipologías IPH**

Para proceder a la adaptación del índice ACCO, primeramente se agruparon los inventarios recopilados para poder definir las comunidades características de cada grupo y poder asimilar los grupos de lagos a las tipologías de la IPH. Para ello se realizaron análisis de *Clustering K means* con la ayuda del programa Ginkgo, del paquete de programario VegAna (De Cáceres, 2010). K-means es un algoritmo de clasificación que realiza particiones de un set de  $n$  objetos en  $c$  grupos o *clusters*. De esta manera, se agrupan las diferentes localidades en función de su similitud en la composición faunística. El criterio para definir los grupos, es que éstos deben tener una dispersión mínima en el espacio (TESS mínima).

La aplicación de los algoritmos de *clustering* requiere especificar *a priori* el número de grupos que contiene el set de datos, ya que este es un parámetro poco conocido antes de realizar el análisis. Una estrategia común es ejecutar los análisis con diferente número de grupos y comparar los resultados a través de criterios internos (comparando los valores de TESS). La disminución de TESS (suma total de errores al cuadrado) se produce siempre independientemente de la existencia de una estructura en grupos, sin embargo, si existe una estructura de grupos, el descenso inicial es más pronunciado, provocando una discontinuidad en la gráfica.

Ginkgo incorpora además dos estadísticos que pueden ser usados como validación del criterio interno: el estadístico Pseudo-F y la *Silhouette* (no paramétrico). Uno de los criterios más comúnmente utilizados para la selección de un número de grupos es la

maximización del estadístico Pseudo-F. La otra posibilidad es utilizar un estadístico no-paramétrico, el enfoque geométrico. La *Silhouette* trata de hacer una representación gráfica de la partición, lo que indica para cada objeto, si está más cerca del grupo al que pertenece o está más cerca de otro grupo. Este último estadístico también se puede utilizar para detectar errores de clasificación de objetos individuales. Los valores cercanos a cero indican que no está claro si el objeto debe ser asignado. Los valores positivos confirman una buena clasificación del objeto, mientras que los valores negativos son un buen indicador de errores de clasificación. La media aritmética de todos los valores se llama la silueta promedio. Por último, con un promedio para todos los objetos en el conjunto de datos da la silueta partición promedio.

Previamente a la realización de los análisis de *clustering*, la matriz de datos ha de ser transformada en una matriz simétrica de distancias. Para ello, se utilizó la distancia ecológica de Bray-Curtis, debido a su idoneidad para tratar datos ecológicos y se utilizaron todos los objetos (en este caso, las localidades) y todas las variables (en este caso, las especies) de la matriz de trabajo. El coeficiente de disimilaridad de Bray-Curtis es un estadístico que permite cuantificar la composición de similitud entre las poblaciones de distintos ecosistemas o de un mismo ecosistema en diferentes momentos y es aplicable tanto para datos cuantitativos como cualitativos. Este estadístico realiza los cálculos comparando las muestras dos a dos para cada especie, ignorando los casos en que una especie está ausente en las dos muestras comparadas. De este modo se obtiene la relación de cambio entre las especies y su riqueza en las dos muestras comparadas.

La disimilaridad de Bray-Curtis está entre 0 y 1, donde 0 significa que los dos ecosistemas tienen la misma composición específica y 1 que no comparten ninguna especie. Los análisis K-means se realizaron utilizando todos los objetos (localidades) de la matriz de trabajo, con el modo de inicialización *seed randomization* y con un número de *runs* aleatorios de 150. De esta manera en cada *run* el programa elige un punto de partida diferente y al azar, además de explorar de una forma suficientemente completa el espacio de soluciones

Con el fin de tomar la decisión final sobre el número de grupos que contiene el set de datos, se ha utilizado la comparación de la TESS y los estadísticos Pseudo-F y *Silhouette* promedio, que además maximice la *Silhouette* de cada grupo y ofrezca una



solución coherente con los conocimientos previos de las características de las localidades.

### **Asignación de valores de calidad**

Una vez determinados los grupos de localidades y los tipos IPH a los cuales pertenecen, y con ello los posibles taxones con valor indicador, se procedió a asignar a éstos un valor de “calidad”. Este valor está relacionado con el valor de estenoicidad o fidelidad que presentan las especies a su grupo de pertenencia. De esta manera, obtienen mayores puntuaciones las especies con una mayor estenoicidad y, por tanto, con menor valencia ecológica. Esto se traduce en que las especies con mayores puntuaciones son las que primero desaparecerían en un hipotético escenario de cambio en las condiciones que definen cada grupo.

Para calcular el valor de calidad se procedió a realizar un análisis de fidelidad utilizando el coeficiente Phi ( $\Phi$ ) mediante el paquete de programario VegAna, utilizando todas las variables y todos los objetos y aplicando la partición en grupos del análisis K-means obtenido en el apartado anterior.

El grado de fidelidad que muestra un taxón a un grupo se evalúa con respecto a la diferencia en el grado de presencia de una especie dentro y fuera del grupo. Podemos referirnos a esta diferencia en la frecuencia como selectividad. Además de su influencia en la selectividad, el grado de presencia juega un papel en si mismo en la evaluación de la fidelidad: una especie rara puede ser muy selectiva, pero si su ocurrencia es muy baja pierde valor como indicador.

Para calcular el valor de calidad se utilizaron prioritariamente los datos procedentes de estaciones de referencia tomando como base la lista que se incluye en el documento MARM (2010) (ver tabla 3). El listado de estaciones de referencia que muestra el citado documento es provisional y cada una de ellas deberá ser confirmada como tal tras el monitoreo a realizar en los próximos años por las Administraciones Hidráulicas competentes.

En la mayoría de los tipos el número de posibles estaciones de referencia resulta escaso, por ello, además de usar estaciones de referencia que son las que fundamentalmente se utilizan a efectos estadísticos, se han consultado adicionalmente datos de todos los lagos incluidos en cada tipo, siguiendo las instrucciones que a este respecto

establece la EPA (2000).

**Tabla 3: Masas de agua de referencia de la categoría lago, cuyos datos han sido utilizados en el presente trabajo.**

TIPO IPH	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA
1	CHE	20276	Estany de Travessany (L)
		20289	Estany Negre (Boi) (L)
		-----	Estany de Saboredó 2 (de Miei) (L)
		-----	Ibón de Batiselles (HU)
2	CHE	-----	Estany Gran de Mainera (L)
3	CHD	20408	Laguna del Sotillo (ZA)
		20406	Laguna Grande de Gredos (M)
	CHE	-----	Estany de Saboredó 3 (de Naut) (L)
		-----	Ibón de Anayet (HU)
		-----	Ibón de Astún (HU)
		-----	Ibón de l'Aigueta de Batiselles (HU)
-----	Ibón Superior de Brazato (HU)		
6	CHD	20407	Lago de Sanabria (ZA)
11	CHE	-----	Estany Petit Basturs (L)
12	CHG	20397	Laguna Concejo (AB)
15	CHE	20308	Estanque Grande de Estanya (HU)
		20321	Estany de Montcortés (L)
		20313	Lago Arreo (VI)
21	CHG	20374	Laguna de El Hito (CU)
22	CHE	20292	Laguna Salada de Chiprana (Z)
23	CHG	20384	Laguna de Alcahozo (CR)
		20378	Laguna de Salicor (CR)

Se consideró que un taxón es susceptible de presentar valor como indicador si su fidelidad al grupo de pertenencia es mayor de 0.

El valor de calidad se obtuvo mediante una ponderación del valor de fidelidad de cada taxón respecto al valor de fidelidad máximo presente en el grupo con el objetivo de estandarizar los valores y hacerlos comparables entre los diferentes grupos. Finalmente se realizó una modulación de los valores por criterio experto, especialmente en aquellos grupos con escasos o nulos datos de referencia.

### **Establecimiento de las condiciones de referencia**

Según la IPH, las condiciones de referencia reflejan el estado correspondiente a niveles de presión nulos o muy bajos, sin efectos debidos a urbanización, industrialización o agricultura intensiva y con mínimas modificaciones fisicoquímicas, hidromorfológicas y biológicas. Las condiciones biológicas de referencia y las condiciones físico-químicas e hidromorfológicas específicas de cada tipo de masa de agua superficial se describirán mediante los correspondientes indicadores (BOE, 2008).

Para el establecimiento de las condiciones de referencia, una vez asignado el valor de calidad de las especies indicadoras, se calcula el índice IBCAEL para cada grupo en las estaciones de referencia (ver tabla 3) con el fin de hallar los valores de referencia y los valores frontera para cada grupo y nivel de calidad, siguiendo los requerimientos de la DMA y la IPH.

De acuerdo con la guía REFCOND (2005), el establecimiento de condiciones de referencia y clasificación del estado ecológico (y con ello de valores frontera entre clases de estado) se puede realizar usando las siguientes opciones: estaciones de referencia, modelos predictivos, series históricas o paleolimnológicas, y/o criterio experto. Además se cita la posibilidad de combinar varias de estas opciones. En el presente trabajo se ha optado por utilizar estaciones de referencia siempre que haya un número suficiente de datos, estaciones de referencia combinadas con el criterio experto cuando los datos no son suficientes y solamente criterio experto en el caso de no disponer de datos de referencia. En estos dos últimos casos, se ha configurado una comunidad biológica característica para ese grupo, la cual se tomará como comunidad de referencia en el caso de ser el único dato o como un dato más en caso contrario.

Siguiendo las recomendaciones del documento REFCOND (2005), para el cálculo de los valores de referencia se ha tomado como estadístico más robusto la mediana de los datos de referencia.

### **Establecimiento de los valores frontera entre clases de estado ecológico**

Una vez obtenidos los valores IBCAEL de referencia para cada grupo, se procede a establecer los valores frontera para las clases de estado ecológico según la DMA (tanto en EQRs – Ecological Quality Ratio-, como en valores de las propias variables). Para

ello se prueban distintas propuestas del documento REFCOND (2005), del trabajo de Boix *et al* (2010), y de los diferentes Grupos Geográficos de Intercalibración (GIGs) que se complementan con el criterio experto, con el fin de adaptarlos a las características de cada grupo.

En primer lugar se han estandarizado los valores IBCAEL obtenidos dividiéndolos por el valor IBCAEL de referencia para cada grupo. De esta manera se obtiene el RCE (Ratio de Calidad Ecológica) o EQR (Ecological Quality Ratio). Procediendo así, los valores se encuentran en un rango aproximado entre 0 y 1, tal y como la DMA requiere el cálculo de los EQR. Estos valores miden la relación entre el valor observado para la métrica y el valor de dicha métrica en condición de referencia.

Después de testar las citadas propuestas, se optó por seguir los criterios para el establecimiento de los valores frontera que han sido utilizados por los diferentes GIGs en los procesos de intercalibración de otros elementos de calidad biológicos (CEDEX 2010).

En el caso de grupos con un único dato disponible (procedente de la comunidad diseñada por criterio experto) se ha tenido que recurrir a la opción B del documento REFCOND (2005), que basa el establecimiento de los valores frontera según el criterio experto únicamente.

### **Validación del índice IBCAEL**

Consiste en una propuesta preliminar para llevar a cabo la validación del índice IBCAEL para todos los tipos de lagos españoles.

## **Resultados**

### **Elaboración de la matriz de trabajo**

A partir de los datos recopilados, se realizó una matriz cuadrada de presencia/ausencia de las diferentes especies de crustáceos, copépodos y ostrácodos de cada lago, con las localidades ordenadas según las tipologías de la IPH. Seguidamente, se procedió a eliminar las especies planctónicas de los lagos susceptibles de contener plancton (lagos profundos), ya que el elemento de calidad biológica que debe valorar el índice es la

fauna bentónica. Ésta será la matriz de trabajo.

Como puede observarse en la Tabla 2, la presencia de las diferentes tipologías es muy desigual; los tipos 1, 3, 12, 21 y 23 están ampliamente representados, y tipos como 6, 7, 8, 11, 14, 20, 22, 24, 28 y 30 lo están solamente por una estación.

No se dispone de datos para los tipos 5, 9, 13, 17, 18 y 27, representados por una o unas pocas estaciones en el ámbito de estudio.

### **Agrupación de las tipologías: Análisis de *Clustering* (*K-means*)**

Dado que el presente trabajo parte del documento *Avaluació de l'estat ecològic de les zones humides i ajust dels indicadors de qualitat. Índexs QAELS<sup>e</sup> 2010, ECELS i EQAT* (Boix *et al.*, 2010), como premisa de partida se adopta la propuesta de grupos especificada en el citado documento y se asimilan a sus tipologías IPH correspondientes. De esta manera tenemos dos grupos previamente definidos:

- ✓ ACA DP (Dulces-oligohalinas Permanentes): *Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media* (Tipos IPH 16 y 18).
- ✓ ACA DT (Dulces-oligohalinas Temporales): *Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal* (Tipos IPH 13, 17 y 30).

Seguidamente, con los datos recopilados de los lagos detallados en la Tabla 2, y una vez obtenida la matriz simétrica de disimilaridad, se procede a realizar los análisis estadísticos necesarios para la elaboración de este trabajo. Primeramente, se realizó un análisis *K-means* con diferente número de grupos definidos *a priori*, con la finalidad de agrupar los lagos en función de su composición faunística e identificar las comunidades propias de cada grupo de lagos.

Procediendo de esta manera, no se obtuvieron resultados satisfactorios. Se observa que la TESS va descendiendo a medida que se incrementa el número de grupos y el descenso inicial es mucho más pronunciado, lo que nos indica la existencia de una estructura de grupos en el set de datos. Sin embargo, el valor de Pseudo-F oscilaba continuamente y no pudo observar ningún máximo claro en este valor. Además los valores de *Silhouette* promedios eran muy bajos o negativos. Este hecho se comprobó que era debido a distorsiones provocadas por el muestreo de las localidades en diferentes épocas del año, puesto que los muestreos de una misma localidad en diferentes épocas

del año se localizaban en diferentes grupos de pertenencia. Con el fin de evitar esta fuente de distorsión, se procedió a colapsar la diversidad temporal en inventarios de diversidad total. Se volvió a realizar el análisis y de nuevo y se siguieron encontrando fuentes de distorsión que se observó que eran debidas a la gran diferencia de tamaños de muestra entre las tipologías, lo que provocaba una excesiva dispersión de algunas tipologías.

Para evitar estas distorsiones se procedió a separar los lagos de las tipologías 1 a 12 del resto de lagos, por dos razones:

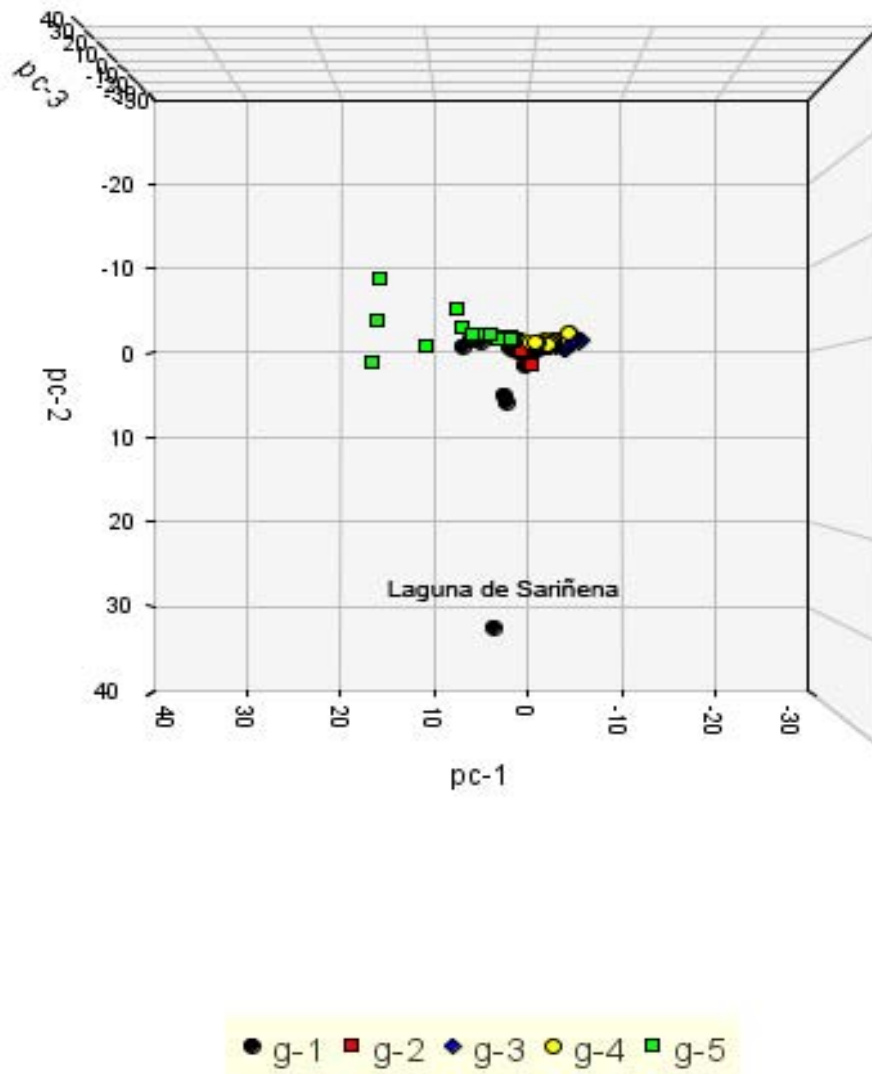
- ✓ Las comunidades de los lagos de montaña son muy diferentes de las del resto de lagos (llanura), separando de este modo, se facilita el análisis posterior.
- ✓ Los lagos de montaña constituyen aproximadamente el 37% del total de datos, distorsionando el análisis, mientras que otros grupos de datos no son suficientemente numerosos como para causar distorsiones significativas.

De esta manera se obtienen dos grandes grupos. En el primer grupo (tipos 1 a 12) se realiza un análisis *K-means* y se escoge como mejor solución una división en 2 grupos: alta montaña y media montaña+cársticos calcáreos.

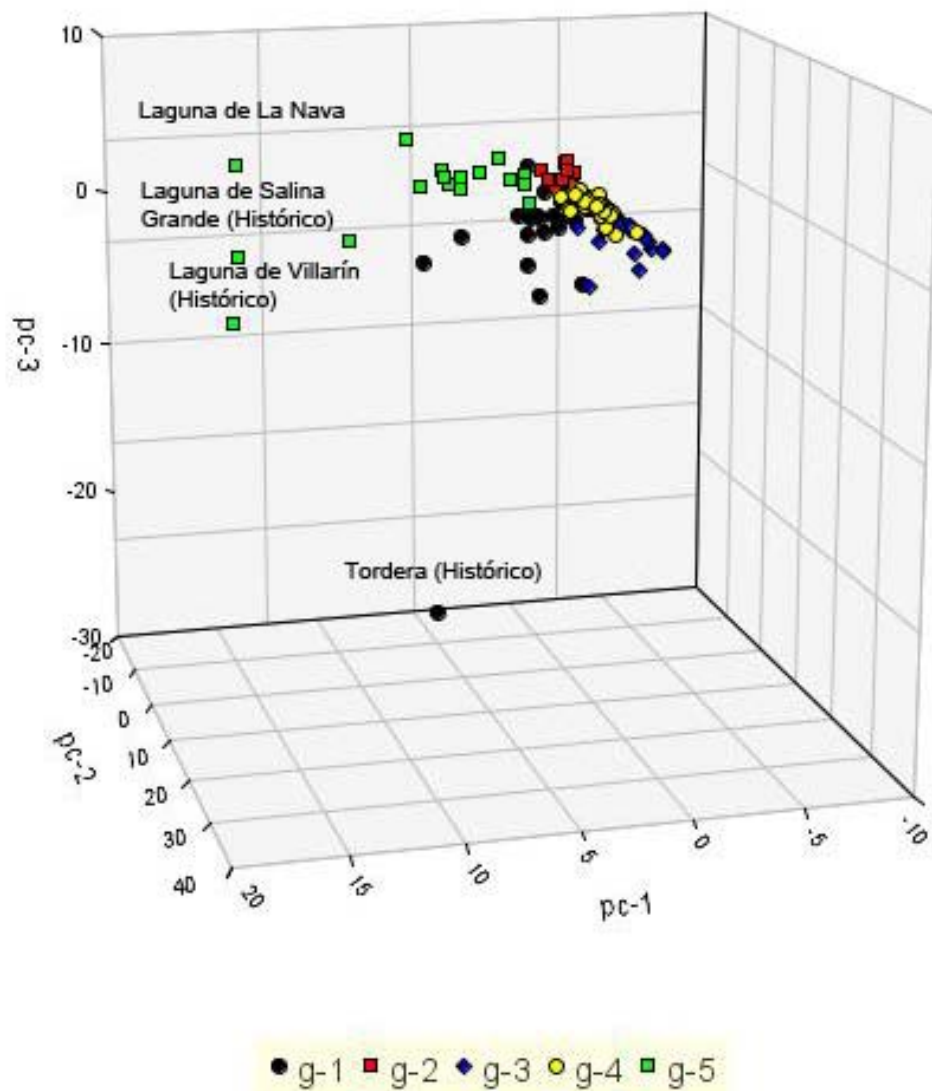
En el segundo grupo (tipologías 13 a 30), se realiza también un análisis *K-means*, y se siguen detectando distorsiones.

Para evitar estas distorsiones, se realiza un análisis de componentes principales (PCA) aplicando la matriz de distribución obtenida en el análisis *k-means*. Este análisis permite detectar localidades muy distantes al centro del grupo de pertenencia, con lo que se elimina la citada fuente de distorsión.

En la figura 4 se muestran las localidades eliminadas del análisis por causar distorsiones en el segundo grupo (Laguna de Sariñena, Laguna de la Nava, Laguna de Salina Grande, Laguna de Villarín y Tordera).



**Figura 4:** Gráficas resultantes del análisis PCA



**Figura 4 cont.:** Gráficas resultantes del análisis PCA

Por último, se repite de nuevo el análisis *K-means* y se obtiene como mejor solución una partición en 5 grupos más.

En definitiva, se obtuvo como mejor solución una división de los lagos españoles en 9 grupos para IBCAEL (en adelante grupos GCA) y se identificaron las comunidades de invertebrados bentónicos propias de cada uno de ellos. Esta partición, guarda una estrecha relación con los gradientes de salinidad y temporalidad.



### Asimilación a los tipos IPH

Una vez obtenidas las particiones y las comunidades de crustáceos características de cada una de ellas, los grupos GCA resultantes se asimilaron a los tipos de las masas de agua de la categoría lago de la IPH. (ver Tabla 3).

**Tabla 3: Grupos resultantes del análisis K-means para el índice IBCAEL**

<b>GRUPO IBCAEL</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>TIPOLOGÍA IPH</b>
<b>GCA1</b>	Alta montaña.	<b>1, 2, 3, 4, 5 y 9</b>
<b>GCA2</b>	Media montaña y cárstico calcáreo.	<b>6, 7, 8, 10, 11 y 12</b>
<b>GCA3</b>	Cárstico evaporitas y cuenca de sedimentación de origen fluvial	<b>14, 15, 24, 25, 26, 27 y 29</b>
<b>GCA4</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media.	<b>16 y 18</b>
<b>GCA5</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización alta o muy alta y litoral sin influencia marina.	<b>20 y 28</b>
<b>GCA6</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, hipersalino.	<b>22</b>
<b>GCA7</b>	Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal.	<b>13, 17 y 30<sup>3</sup></b>
<b>GCA8</b>	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, mineralización media y alta.	<b>19 y 21</b>
<b>GCA9</b>	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, hipersalino.	<b>23</b>

Las tipologías de las que no se dispone de datos (5, 9 y 27) fueron incluidas en los GCA correspondientes mediante criterio experto.

<sup>3</sup> La tipología 30 de la IPH ha quedado incluida en GCA 7 debido a su grado de mineralización.

En el siguiente diagrama se resume el proceso seguido en el análisis estadístico:

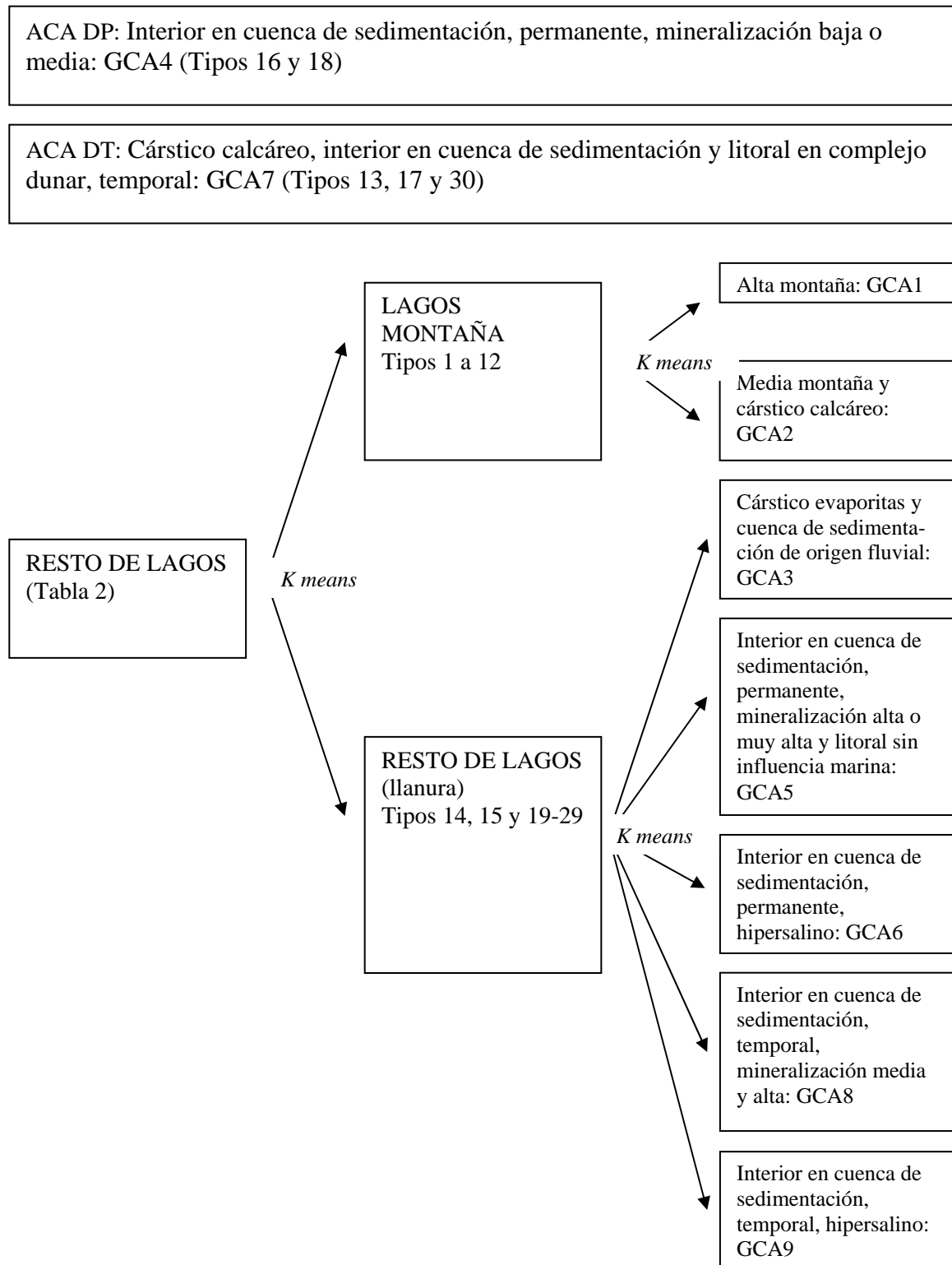


Figura 5: Diagrama resumen de la división en grupos resultante del análisis estadístico

### Asignación de Valores de Sensibilidad

Una vez determinados los GCA y los posibles taxones con valor indicador, se procedió a asignar a estos un valor de “calidad”, es decir, una determinada puntuación.

Como se ha explicado con anterioridad, se realizó un análisis de fidelidad mediante el coeficiente Phi y el valor de calidad se obtuvo mediante una ponderación respecto al valor de fidelidad máximo presente en el grupo. Posteriormente se realizó una modulación de los valores por criterio experto, especialmente en aquellos grupos con pocos datos de referencia.

En los casos de GCA4 y GCA7 se ha adoptado la propuesta de especies indicadoras y valores de calidad del índice QAELS especificados en el documento de Boix *et al.* (2010), puesto que están incluidos en dos de los grupos descritos en el citado documento:

- ✓ **GCA4:** *Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media* incluido en ACA DP (Dulces-oligohalinas Permanentes).
- ✓ **GCA7:** *Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal*, asimilado a ACA DT (Dulces-oligohalinas Temporales).

A continuación se presenta la Tabla 4 de las especies indicadoras y sus valores de calidad correspondientes según los GCA.

**Tabla 4: Especies indicadoras y sus valores de calidad correspondientes.**

	GCA1	GCA2	GCA3	GCA4	GCA5	GCA6	GCA7	GCA8	GCA9
<b>Taxones</b>	<b>Valores de calidad</b>								
<b>BRANCHIOPODA</b>									
<i>Acroperus angustatus</i>		9	7						
<i>Acroperus harpae</i>	7								
<i>Alona affinis</i>	7	5							
<i>Alona elegans</i>		1	1						
<i>Alona quadrangularis</i>		8	5						
<i>Alona rectangula</i>		3		3	7		3		
<i>Alona rectangula</i>									
<i>Alona salina</i>								10	9
<i>Alonella excisa</i>	9	4	1						

**Tabla 4: Especies indicadoras y sus valores de calidad correspondientes.**

	GCA1	GCA2	GCA3	GCA4	GCA5	GCA6	GCA7	GCA8	GCA9
<b>Taxones</b>	<b>Valores de calidad</b>								
<i>Alonella nana</i>	7	3							
<i>Artemia partenogenetica</i>						10			
<i>Bosmina longirostris</i>			5						
<i>Branchinecta ferox</i>							10		
<i>Branchinectella media</i>							9		
<i>Branchipus schafferi</i>							8		
<i>Ceriodaphnia laticaudata</i>			5						
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>			7			5			
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>			4			3			
<i>Chirocephalus diaphanus</i>							7		
<i>Chydorus sphaericus</i>	8	2	3			6			
<i>Cyzicus grubei</i>							7		
<i>Cyzicus tetracercus</i>							6		
<i>Daphnia curvirostris</i>						10			
<i>Daphnia magna</i>		4	3	10		3	7	5	
<i>Daphnia mediterránea</i>							6	8	
<i>Daphnia obtusa</i>						1			
<i>Daphnia pulicaria</i>			2			7			
<i>Dunhevedia crassa</i>							7		
<i>Eurycercus lamellatus</i>	8								
<i>Graptoleberis testudinaria</i>	6	3	6						
<i>Isaura mayeti</i>							7		
<i>Macrothrix hirsuticornis</i>	4	1	6	7			3		
<i>Maghrebestheria maroccana</i>							7		
<i>Moina brachiata</i>						5	8		
<i>Moina micrura</i>			1						
<i>Moina salina</i>									8
<i>Oxyurella tenuicaudis</i>			8						
<i>Pleuroxus aduncus</i>		4	10	5	6				
<i>Pleuroxus denticulatus</i>			1						
<i>Pleuroxus laevis</i>			7						
<i>Pleuroxus letournexi</i>							4		
<i>Pleuroxus truncatus</i>		6	10						
<i>Scapholeberis rammneri</i>			5						

**Tabla 4: Especies indicadoras y sus valores de calidad correspondientes.**

	GCA1	GCA2	GCA3	GCA4	GCA5	GCA6	GCA7	GCA8	GCA9
<b>Taxones</b>	<b>Valores de calidad</b>								
<i>Sida cristallina</i>		10							
<i>Simocephalus exspinosus</i>				6	6		6		
<i>Simocephalus vetulus</i>		7	6	8			7		
<b>COPEPODA</b>									
<i>Arctodiaptomus salinus</i>									9
<i>Acanthocyclops gr. robustus- vernalis</i>				5			5		
<i>Acanthocyclops vernalis</i>		1	1						
<i>Arctodiaptomus wierzejskii</i>								10	
<i>Canthocamptus staphylinus</i>							9		
<i>Cletocamptus retrogressus</i>						9			
<i>Cyclops sp.</i>				8			5		
<i>Diacyclops bicuspidatus</i>							8	9	
<i>Diacyclops bisetosus</i>							4		
<i>Diaptomus cyaneus</i>							10		
<i>Ectocyclops phaleratus</i>				7					
<i>Eucyclops macruroides</i>		8	7						
<i>Eucyclops serrulatus</i>	9	2	9	5					
<i>Hemidiaptomus roubaii</i>								2	
<i>Macrocyclus albidus</i>		7		8					
<i>Megacyclus viridis</i>				10	9		5	1	
<i>Metacyclus minutus</i>							7	6	
<i>Mixodiaptomus incrassatus</i>							7	4	
<i>Mixodiaptomus kupelwieseri</i>							6		
<i>Neolovenula alluaudi</i>			7				4	5	
<i>Tropocyclops prasinus</i>				6					
<b>OSTRACODA</b>									
<i>Candelacypris aragonica</i>						5			3
<i>Cyclocypris ovum</i>							4		
<i>Cypria ophtalmica</i>				3					
<i>Cypridopsis vidua</i>		3	3	8			8		
<i>Eucypris virens</i>				9			5		
<i>Herpetocypris chevreuxi</i>				5			7		
<i>Heterocypris barbara</i>							4		

**Tabla 4: Especies indicadoras y sus valores de calidad correspondientes.**

	GCA1	GCA2	GCA3	GCA4	GCA5	GCA6	GCA7	GCA8	GCA9
<b>Taxones</b>	<b>Valores de calidad</b>								
<i>Heterocypris incongruens</i>							5		
<i>Heterocypris salina</i>				2		7			10
<i>Plesiocypridopsis newtoni</i>							4		

### Establecimiento de las Condiciones de Referencia

Una vez asignadas las puntuaciones de las especies indicadoras para cada GCA, es necesario recalcular el índice IBCAEL en las estaciones de referencia, de modo que se puedan hallar los valores de referencia y los valores de corte para cada grupo y nivel de calidad, siguiendo los requerimientos de la DMA.

#### **GCA4 y GCA7:**

Para los grupos de lagos asimilables a los tipos descritos por la ACA en Cataluña en el documento de Boix *et al.* (2010) se han tomado como condiciones de referencia las que propone este organismo (ver Tabla 5).

**Tabla 5: Condición de referencia para los GCA4 y GCA7 (asimilados a los grupos ACA)**

Masas de agua consideradas:	Masas de referencia (ref) y de no referencia (no ref)
Estadístico utilizado para el establecimiento de la condición de referencia (IBCAELref)	Valor máximo del conjunto de datos

#### **GCA1, GCA2, GCA3, GCA 5, GCA 6, GCA 8 y GCA 9 (resto de grupos)**

En cuanto al resto de los grupos, tras la asignación de los valores de sensibilidad de cada especie dentro de cada uno de ellos, se procede a aplicar estos valores para el cálculo del índice IBCAEL en estaciones de referencia.

Del conjunto de masas de agua utilizadas para el análisis estadístico, se han seleccionado las estaciones de referencia tomando como base la lista que se incluye en el documento *Informe de síntesis de la red de Referencia* (MARM 2010). Estas masas de agua de referencia, se han agrupado según los resultados obtenidos en el apartado

“Agrupación de las tipologías: Análisis de *Clustering (K-means)*, en el que los tipos IPH se clasifican en 9 grupos, tal y como se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6: Masas de agua de referencia con datos disponibles para cálculo del IBCAEL**

GRUPOS IBCAEL	TIPO IPH	CÓDIGO MASA	NOMBRE DE LA MASA DE AGUA
GCA1 Alta montaña	1	20276	Estany de Travessany (L)
		20289	Estany Negre (Boí) (L)
		-----	Estany de Saboredó 2 (de Miei) (L)
		-----	Ibón de Batiselles (HU)
	2	-----	Estany Gran de Mainera (L)
	3	20408	Laguna del Sotillo (ZA)
		20406	Laguna Grande de Gredos (M)
		-----	Estany de Saboredó 3 (de Naut) (L)
		-----	Ibón de Anayet (HU)
		-----	Ibón de Astún (HU)
-----		Ibón de l'Aigueta de Batiselles (HU)	
GCA2 Media montaña y cárstico calcáreo	6	20407	Lago de Sanabria (ZA)
	11	-----	Estany Petit Basturs (L)
	12	20397	Laguna Concejo (AB)
GCA3 Cárstico evaporitas y cuenca de sedimentación de origen fluvial	15	20308	Estanque Grande de Estanya (HU)
		20321	Estany de Montcortés (L)
		20313	Lago Arreo (VI)
GCA6 Interior en cuenca de sedimentación, permanente, hipersalino	22	20292	Laguna Salada de Chiprana (Z)
GCA8 Interior en cuenca de sedimentación, temporal, mineralización media y alta	21	20374	Laguna de El Hito (CU)
GCA9 Interior en cuenca de sedimentación, temporal, hipersalino	23	20384	Laguna de Alcahozo (CR)
		20378	Laguna de Salicor (CR)

A continuación, se calculan los índices *ACCO*, *RIC* e *IBCAEL* de las posibles estaciones de referencia de las que se dispone de datos.

En el **caso de GCA5** no se dispone de datos de referencia, por lo que se ha configurado una comunidad biológica característica para este grupo siguiendo el criterio de ex-

perto, la cual se tomará como comunidad de referencia.

En los grupos con datos de sólo una masa de agua de referencia (GCA6 y GCA8), se han utilizado inventarios de distintas campañas realizadas entre los años 2006 a 2009. Como dato añadido, en todos los grupos se ha diseñado una comunidad biológica característica según criterio experto y se ha calculado el valor de los índices como si se tratara de una muestra más, de modo que sea un resultado ideal dentro del conjunto de datos disponibles. En el caso de GCA1, esto no ha sido necesario, puesto que se dispone de suficiente número de datos.

Siguiendo las recomendaciones del documento REFCOND (2005) para el cálculo del valor de referencia para los GCA, se ha tomado como estadístico más robusto la mediana de los datos.

Los valores de referencia obtenidos de este modo se presentaron como muy bajos para ser estaciones de referencia, por lo que se optó por llevar a cabo una depuración de los datos. Así pues, se seleccionaron los mejores datos procedentes de las posibles estaciones de referencia para el cálculo de la mediana, siguiendo el criterio de experto. De este modo, se eliminaron los datos anómalos que pudieran ser debidos a errores de muestreo, fechas de muestreo inapropiadas para el tipo de masa de agua, etc.

Con este procedimiento de depuración, se consigue que los datos utilizados para el cálculo de los valores de referencia sean datos que podrían proceder de auténticas estaciones de referencia. A continuación, se calcula la mediana de estos datos y se toma como condición de referencia para cada GCA (ver Tabla 7).

**Tabla 7: Condición de referencia para los GCA1, GCA2, GCA3, GCA5, GCA6, GCA8 y GCA9**

Masas de agua consideradas:	Masas de referencia (ref)
Estadístico utilizado para el establecimiento de la condición de referencia (IBCAELref)	Mediana de los datos depurados

Por distintas razones, en GCA5 (ausencia de datos) y en GCA8 (datos anómalos) solo se dispone de un resultado de *IBCAEL*, el procedente de la comunidad tipo basada en el criterio experto. En ambos casos este único resultado de *IBCAEL* se ha tomado como condición de referencia.



### **Establecimiento de valores frontera entre clases de estado ecológico de la DMA**

Una vez hallados los valores IBCAEL para los lagos de referencia, se procede a buscar los valores de corte para las clases de estado ecológico según la DMA. Para ello, se prueban distintas propuestas del documento REFCOND que se complementan con el criterio experto, con el fin de adaptarlos a las características de cada “grupo IBCAEL”.

#### **Niveles frontera de GCA4 y GCA7**

Para los grupos de lagos asimilados a los grupos de la ACA, es decir, el **GCA4** y el **GCA7** se toman los valores de corte propuestos para las distintas clases de estado que propone este organismo (Boix *et al.*, 2010). Estos valores de corte resultan de la propuesta 5 de la ACA, cuyos criterios de establecimiento se especifican en la Tabla 8.

**Tabla 8: Propuesta 5 de establecimiento de niveles de calidad (ACA 2010) para GCA4 y GCA7**

Masas de agua consideradas:	Masas de referencia (ref) y no de referencia (no ref)
Estadísticos utilizados para el establecimiento de los valores frontera	<p>a. Percentil 90 de las masas de referencia (P90ref)</p> <p>b. Percentiles 75, 50 y 25 de las masas que no son de referencia (P75no_ref , P50no_ref y P25no_ref)</p>
Criterio de establecimiento de las fronteras entre clases de estado de la Propuesta 5 (Boix <i>et al.</i> , 2010):	<p>Muy Bueno: <math>EQR \geq P90ref</math></p> <p>Bueno: <math>P75no\_ref \leq EQR &lt; P90ref</math></p> <p>Moderado: <math>P50no\_ref \leq EQR &lt; P75no\_ref</math></p> <p>Deficiente: <math>P25no\_ref \leq EQR &lt; P50no\_ref</math></p> <p>Malo: <math>EQR &lt; P25no\_ref</math></p>

#### **Niveles frontera de GCA1, GCA2, GCA3, GCA5, GCA6, GCA8 y GCA9 (resto de grupos)**

A continuación se describen los pasos seguidos para la obtención de los valores de corte de cada uno de los niveles de calidad establecidos por la DMA para los Grupos IBCAEL no asimilados a los grupos ACA.

Cálculos previos comunes a todos los grupos:

- I. **Cálculo de los índices ACCO, RIC e IBCAEL.**
- II. **Parámetros estadísticos calculados:** en cada GCA se ha calculado la mediana y el percentil 25 del conjunto de resultados de *IBCAEL*, para la obtención de los valores de referencia y el establecimiento de los valores frontera entre clases de estado para cada grupo de lagos.
- III. **Estandarización:** a continuación, se han estandarizado estos resultados, dividiéndolos por la mediana obtenida en cada grupo IBCAEL (a excepción de GCA4 y GCA7 que se estandarizan con los valores máximos, según procedimiento ACA), obteniendo así el RCE (Ratio de Calidad Ecológica) o EQR (Ecological Quality Ratio). De este modo, los valores resultantes se encuentran en un rango entre 0 y 1, tal y como la DMA requiere en el cálculo de los EQR.

Establecimiento de los valores frontera

Como se ha mencionado anteriormente, el establecimiento de los valores frontera se basa en las directrices que se incluyen en el documento REFCOND (2005). Se han testado además, algunas de las propuestas indicadas en el documento de Boix *et al.* (2010) y de los diferentes GIGs.

Después de testar las referidas propuestas, se optó por seguir los criterios para el establecimiento de los valores frontera que han sido utilizados por los diferentes Grupos Geográficos de Intercalibración (GIG) en los procesos de intercalibración de otros elementos de calidad biológicos (CEDEX, 2010). Estos criterios se presentan en la tabla Tabla 9.

**Tabla 9: Criterios para el establecimiento de los valores frontera de los GCA1, GCA2, GCA3, GCA6 y GCA9**

Masas de agua consideradas:	Masas de referencia (ref)
Estadístico utilizado para el establecimiento de los valores frontera:	Percentil 25 de las masas de referencia (P25ref)
Criterio de establecimiento de las fronteras entre clases de estado:	Muy Bueno: $IBCAEL \geq P25ref$ Bueno: $P25ref * 0,75 \leq IBCAEL < P25ref$ Moderado: $P25ref * 0,50 \leq IBCAEL < P25ref * 0,75$ Deficiente: $P25ref * 0,25 \leq IBCAEL \leq P25ref * 0,50$ Malo: $IBCAEL < P25ref * 0,25$

Ahora bien, en GCA 5 y GCA 8 se ha tenido que trabajar con el único dato disponible, que es el procedente del inventario diseñado según criterio experto. Por ello, se ha tenido que recurrir a la opción B del documento REFCOND, que basa el establecimiento de los valores frontera según el criterio experto únicamente, y cuando se disponga de datos suficientes se podrán definir los valores frontera de forma más rigurosa.

Para estos dos casos el procedimiento general sería el siguiente:

1. Establecimiento de una escala de clasificación provisional del estado ecológico (EQR) según el criterio experto, en la cual se vean representados adecuadamente los estados ecológicos de Muy Bueno a Malo. En este caso se han tomado los siguientes valores:

Muy Bueno	$EQR \geq 0,80$
Bueno	$0,60 \leq EQR < 0,80$
Moderado	$0,40 \leq EQR < 0,60$
Deficiente	$0,20 \leq EQR < 0,40$
Malo	$EQR < 0,20$

2. Se toma como valor de referencia (IBCAELref) el valor disponible.
3. Se aplica la escala anterior al IBCAELref con el fin de obtener los valores frontera entre las clases de estado ecológico, multiplicando el valor de referencia por el EQR correspondiente (ver Tabla 10).

**Tabla 10: Criterios para el establecimiento de los valores frontera de GCA5 y GCA8**

Masas de agua consideradas:	Comunidad ideal diseñada según el criterio de experto.	
Criterio de establecimiento de las fronteras entre clases de estado:	Muy Bueno	$IBCAEL \geq IBCAEL_{ref} * 0,80$
	Bueno	$IBCAEL_{ref} * 0,60 \leq IBCAEL < IBCAEL_{ref} * 0,80$
	Moderado	$IBCAEL_{ref} * 0,40 \leq IBCAEL < IBCAEL_{ref} * 0,60$
	Deficiente	$IBCAEL_{ref} * 0,20 \leq IBCAEL < IBCAEL_{ref} * 0,40$
	Malo	$IBCAEL < IBCAEL_{ref} * 0,20$

### Resumen de los resultados

A continuación se presentan los valores de referencia del índice *IBCAEL* así como los valores frontera entre las distintas clases de estado en cada grupo de lagos (ver Tabla 11 y Tabla 12). La Tabla 13 presenta el resumen de los datos finales así como el estado ecológico resultante.

**Tabla 11: Valores tomados como condición de referencia para los distintos GCA**

<b>GCA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CONDICIÓN DE REFERENCIA (IBCAEL ref)</b>
<b>GCA1</b>	Alta montaña.	8,62
<b>GCA2</b>	Media montaña y cárstico calcáreo.	4,66
<b>GCA3</b>	Cárstico evaporitas y cuenca de sedimentación de origen fluvial	6,19
<b>GCA4</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media	12,44
<b>GCA5</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización alta o muy alta y litoral sin influencia marina.	9,20
<b>GCA6</b>	Interior en cuenca de sedimentación, permanente, hipersalino.	6,62
<b>GCA7</b>	Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal.	11,08

**Tabla 11: Valores tomados como condición de referencia para los distintos GCA**

<b>GCA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>CONDICIÓN DE REFERENCIA (IBCAEL ref)</b>
<b>GCA8</b>	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, mineralización media y alta.	6,78
<b>GCA9</b>	Interior en cuenca de sedimentación, temporal, hipersalino.	9,33

**Tabla 12: Valores frontera entre clases de estado ecológico de IBCAEL y EQR para para los distintos GCA**

<b>GCA</b>	<b>CLASES DE ESTADO ECOLÓGICO</b>	<b>VALORES FRONTERA IBCAEL</b>	<b>EQR</b>
<b>GCA1</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 7,96$	$EQR \geq 0,92$
	Bueno	$5,97 \leq IBCAEL < 7,96$	$0,69 \leq EQR < 0,92$
	Moderado	$3,98 \leq IBCAEL < 5,97$	$0,46 \leq EQR < 0,69$
	Deficiente	$1,99 \leq IBCAEL < 3,98$	$0,23 \leq EQR < 0,46$
	Malo	$IBCAEL < 1,99$	$EQR < 0,23$
<b>GCA2</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 4,32$	$EQR \geq 0,93$
	Bueno	$3,24 \leq IBCAEL < 4,32$	$0,69 \leq EQR < 0,93$
	Moderado	$2,16 \leq IBCAEL < 3,24$	$0,46 \leq EQR < 0,69$
	Deficiente	$1,08 \leq IBCAEL < 2,16$	$0,23 \leq EQR < 0,46$
	Malo	$IBCAEL < 1,08$	$EQR < 0,23$
<b>GCA3</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 4,84$	$EQR \geq 0,78$
	Bueno	$3,63 \leq IBCAEL < 4,84$	$0,59 \leq EQR < 0,78$
	Moderado	$2,42 \leq IBCAEL < 3,63$	$0,39 \leq EQR < 0,59$
	Deficiente	$1,21 \leq IBCAEL < 2,42$	$0,20 \leq EQR < 0,39$
	Malo	$IBCAEL < 1,21$	$EQR < 0,20$
<b>GCA4</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 10,70$	$EQR \geq 0,86$
	Bueno	$7,22 \leq IBCAEL < 10,70$	$0,58 \leq EQR < 0,86$
	Moderado	$6,34 \leq IBCAEL < 7,22$	$0,51 \leq EQR < 0,58$
	Deficiente	$4,85 \leq IBCAEL < 6,34$	$0,39 \leq EQR < 0,51$
	Malo	$IBCAEL < 4,85$	$EQR < 0,39$

**Tabla 12: Valores frontera entre clases de estado ecológico de IBCAEL y EQR para para los distintos GCA**

<b>GCA</b>	<b>CLASES DE ESTADO ECOLÓGICO</b>	<b>VALORES FRONTERA IBCAEL</b>	<b>EQR</b>
<b>GCA5</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 7,36$	$EQR \geq 0,80$
	Bueno	$5,52 \leq IBCAEL < 7,36$	$0,60 \leq EQR < 0,80$
	Moderado	$3,68 \leq IBCAEL < 5,52$	$0,40 \leq EQR < 0,60$
	Deficiente	$1,84 \leq IBCAEL < 3,68$	$0,20 \leq EQR < 0,40$
	Malo	$IBCAEL < 1,84$	$EQR < 0,20$
<b>GCA6</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 5,94$	$EQR \geq 0,90$
	Bueno	$4,45 \leq IBCAEL < 5,94$	$0,67 \leq EQR < 0,90$
	Moderado	$2,97 \leq IBCAEL < 4,45$	$0,45 \leq EQR < 0,67$
	Deficiente	$1,48 \leq IBCAEL < 2,97$	$0,22 \leq EQR < 0,45$
	Malo	$IBCAEL < 1,48$	$EQR < 0,22$
<b>GCA7</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 9,86$	$EQR \geq 0,89$
	Bueno	$7,53 \leq IBCAEL < 9,86$	$0,68 \leq EQR < 0,89$
	Moderado	$6,20 \leq IBCAEL < 7,53$	$0,56 \leq EQR < 0,68$
	Deficiente	$4,99 \leq IBCAEL < 6,20$	$0,45 \leq EQR < 0,56$
	Malo	$IBCAEL < 4,99$	$EQR < 0,45$
<b>GCA8</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 5,43$	$EQR \geq 0,80$
	Bueno	$4,07 \leq IBCAEL < 5,43$	$0,60 \leq EQR < 0,80$
	Moderado	$2,71 \leq IBCAEL < 4,07$	$0,40 \leq EQR < 0,60$
	Deficiente	$1,36 \leq IBCAEL < 2,71$	$0,20 \leq EQR < 0,40$
	Malo	$IBCAEL < 1,36$	$EQR < 0,20$
<b>GCA9</b>	Muy Bueno	$IBCAEL \geq 7,85$	$EQR \geq 0,84$
	Bueno	$5,89 \leq IBCAEL < 7,85$	$0,63 \leq EQR < 0,84$
	Moderado	$3,93 \leq IBCAEL < 5,89$	$0,42 \leq EQR < 0,63$
	Deficiente	$1,96 \leq IBCAEL < 3,93$	$0,21 \leq EQR < 0,42$
	Malo	$IBCAEL < 1,96$	$EQR < 0,21$

**Tabla 13: Resumen de Condiciones de Referencia (IBCAELref) y valores frontera de EQR e IBCAEL para los distintos GCA y clases de estado ecológico**

GRUPOS IBCAEL	Tipos IPH	IBCAELref	MUY BUENO	BUENO	MODERADO	DEFICIENTE	MALO
<b>GCA1</b>	1, 2, 3, 4, 5 y 9 Alta montaña	8,62	IBCAEL $\geq$ 7,96 EQR $\geq$ 0,92	5,97 $\leq$ IBCAEL < 7,96 0,69 $\leq$ EQR < 0,92	3,98 $\leq$ IBCAEL < 5,97 0,46 $\leq$ EQR < 0,69	1,99 $\leq$ IBCAEL < 3,98 0,23 $\leq$ EQR < 0,46	IBCAEL < 1,99 EQR < 0,23
<b>GCA2</b>	6,7,8,10,11 y 12 Media montaña y cárstico calcáreo.	4,66	IBCAEL $\geq$ 4,32 EQR $\geq$ 0,93	3,24 $\leq$ IBCAEL < 4,32 0,69 $\leq$ EQR < 0,93	2,16 $\leq$ IBCAEL < 3,24 0,46 $\leq$ EQR < 0,69	1,08 $\leq$ IBCAEL < 2,16 0,23 $\leq$ EQR < 0,46	IBCAEL < 1,08 EQR < 0,23
<b>GCA3</b>	14, 15, 24, 25, 26, 27 y 29 Cárstico evaporitas y cuenca de sedimentación de origen fluvial	6,19	IBCAEL $\geq$ 4,84 EQR $\geq$ 0,78	3,63 $\leq$ IBCAEL < 4,84 0,59 $\leq$ EQR < 0,78	2,42 $\leq$ IBCAEL < 3,63 0,39 $\leq$ EQR < 0,59	1,21 $\leq$ IBCAEL < 2,42 0,20 $\leq$ EQR < 0,39	IBCAEL < 1,21 EQR < 0,20
<b>GCA4</b>	16 y 18 Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización baja o media	12,44	IBCAEL $\geq$ 10,70 EQR $\geq$ 0,86	7,22 $\leq$ IBCAEL < 10,70 0,58 $\leq$ EQR < 0,86	6,34 $\leq$ IBCAEL < 7,22 0,51 $\leq$ EQR < 0,58	4,85 $\leq$ IBCAEL < 6,34 0,39 $\leq$ EQR < 0,51	IBCAEL < 4,85 EQR < 0,39
<b>GCA5</b>	20 y 28 Interior en cuenca de sedimentación, permanente, mineralización alta o muy alta y litoral sin influencia marina.	9,20	IBCAEL $\geq$ 7,36 EQR $\geq$ 0,80	5,52 $\leq$ IBCAEL < 7,36 0,60 $\leq$ EQR < 0,80	3,68 $\leq$ IBCAEL < 5,52 0,40 $\leq$ EQR < 0,60	1,84 $\leq$ IBCAEL < 3,68 0,20 $\leq$ EQR < 0,40	IBCAEL < 1,84 EQR < 0,20

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

**Tabla 13 cont: Resumen de Condiciones de Referencia (IBCAELref) y valores frontera de EQR e IBCAEL para los distintos GCA y clases de estado ecológico**

GRUPOS IBCAEL	Tipos IPH	IBCAELref	MUY BUENO	BUENO	MODERADO	DEFICIENTE	MALO
<b>GCA6</b>	22 Interior en cuenca de sedimentación, permanente, hipersalino.	6,62	IBCAEL $\geq$ 5,94  EQR $\geq$ 0,90	4,45 $\leq$ IBCAEL < 5,94  0,67 $\leq$ EQR < 0,90	2,97 $\leq$ IBCAEL < 4,45  0,45 $\leq$ EQR < 0,67	1,48 $\leq$ IBCAEL < 2,97  0,22 $\leq$ EQR < 0,45	IBCAEL < 1,48  EQR < 0,22
<b>GCA7</b>	13, 17 y 30 Cárstico calcáreo, interior en cuenca de sedimentación y litoral en complejo dunar, temporal.	11,08	IBCAEL $\geq$ 9,86  EQR $\geq$ 0,89	7,53 $\leq$ IBCAEL < 9,86  0,68 $\leq$ EQR < 0,89	6,20 $\leq$ IBCAEL < 7,53  0,56 $\leq$ EQR < 0,68	4,99 $\leq$ IBCAEL < 6,20  0,45 $\leq$ EQR < 0,56	IBCAEL < 4,99  EQR < 0,45
<b>GCA8</b>	19 y 21 Interior en cuenca de sedimentación, temporal, mineralización media y alta.	6,78	IBCAEL $\geq$ 5,43  EQR $\geq$ 0,80	4,07 $\leq$ IBCAEL < 5,43  0,60 $\leq$ EQR < 0,80	2,71 $\leq$ IBCAEL < 4,07  0,40 $\leq$ EQR < 0,60	1,36 $\leq$ IBCAEL < 2,71  0,20 $\leq$ EQR < 0,40	IBCAEL < 1,36  EQR < 0,20
<b>GCA9</b>	23 Interior en cuenca de sedimentación, temporal, hipersalino.	9,33	IBCAEL $\geq$ 7,85  EQR $\geq$ 0,84	5,89 $\leq$ IBCAEL < 7,85  0,63 $\leq$ EQR < 0,84	3,93 $\leq$ IBCAEL < 5,89  0,42 $\leq$ EQR < 0,63	1,96 $\leq$ IBCAEL < 3,93  0,21 $\leq$ EQR < 0,42	IBCAEL < 1,96  EQR < 0,21



## Validación del índice IBCAEL

El primer paso para la validación del índice sería determinar qué variables rigen el funcionamiento de este tipo de ecosistemas. De este modo se puede segregar el conjunto de ecosistemas leníticos en dos grandes grupos:

- **Sensibles a variables relacionadas con el estado trófico:** se propone la validación mediante el índice *TRIX* (Vollenweider *et al.*, 1998) tal y como se realiza en el documento de la ACA (Boix *et al.*, 2010), puesto que es un índice específicamente diseñado para evaluar el estado trófico. Las variables utilizadas por este índice son el nitrógeno total (NT), nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), fósforo total (PT), fosfato ( $PO_4$ ), clorofila a (Chla) y oxígeno disuelto (OD).

El índice *TRIX* se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$TRIX = [\log_{10} (Chla * aD\%O * DIN * PT) + 1,5] / 1,2$$

donde Chla, DIN y PT se miden en mg/l y D%O corresponde a la desviación absoluta del porcentaje de saturación de oxígeno (valor absoluto  $100 - \%OD$ ).

Los lagos que se deberían validar mediante este índice son los GCA1, GCA2, GCA3, GCA4 y GCA7. Para ello será necesario disponer de datos apareados de invertebrados bentónicos y de los parámetros mencionados anteriormente, para los cálculos de *IBCAEL* y *TRIX*. De este modo se podrán establecer correlaciones entre estos dos índices que permitan validar el uso del *IBCAEL* para estos tipos de lagos.

- **Sensibles al grado de salinidad y al hidroperiodo:** se propone la validación mediante el establecimiento de correlaciones entre valores de *IBCAEL* y valores de salinidad e hidroperiodo.

Los lagos que se deberían validar mediante este método son los GCA5, GCA6, GCA8 y GCA9. Para ello se deberá disponer de datos de invertebrados bentónicos apareados con datos de salinidad (conductividad en  $\mu S/cm$ ) y del hidroperiodo (temporalidad sí/no).

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

## **Discusión**

El objetivo propuesto, que consistía en elaborar una métrica para evaluar el estado ecológico de las masas de agua superficial de la categoría lago en España, conforme al elemento de calidad biológica “composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados” se ha alcanzado. En el futuro, el índice IBCAEL puede admitir ajustes derivados del incremento de datos disponibles.

## **Conclusiones**

- A partir del índice QAELS ha sido posible desarrollar el índice IBCAEL, una métrica para evaluar el estado ecológico de las masas de agua de la tipología lagos en España conforme al elemento de calidad biológica composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados. Para adaptar este índice, ha sido suficiente con la adaptación del índice ACCO, que pasa a llamarse ACBO (Abundancia de Copépodos, Branquiópodos y Ostrácodos).
- Los análisis estadísticos realizados han permitido agrupar los lagos españoles en 9 grupos que se ajustan a las tipologías de lagos de la IPH. Esta partición, guarda una estrecha relación con los gradientes de salinidad y temporalidad.
- Se han detectado 78 especies indicadoras y se han determinado sus valores de calidad
- Para los 9 grupos detectados, ha sido posible hallar las condiciones de referencia para los 9 grupos de lagos hallados.
- Se ha podido establecer los valores frontera para las clases de estado ecológico según los requerimientos de la DMA.

**Agradecimientos:**

Este trabajo ha sido realizado en el marco de la asistencia técnica “IBCAEL: adaptación del índice QAELS a todos los tipos de lagos españoles” (Clave: 21.803.808/0411) del Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino.

Quería agradacer su colaboración al Dr. Miguel Alonso (URS) por su orientación durante el proceso y la dirección del trabajo así como por la revisión del manuscrito. Al Dr. Joan Armengol (UB) por la tutorización del mismo. Al Dr. Xavier Font (UB) por sus comentarios y ayuda en el uso del programario estadístico. A Pepita Nolla (URS) por su ayuda con los cálculos de las condiciones de referencia y los valores frontera entre clases de estado ecológico y por su apoyo durante la realización del trabajo. También quería expresar mi gratitud al Dr. Dani Boix (UdG) por sus inestimables comentarios sobre el índice QAELS y a Elena Barrios (MMARM), Javier Ruza (MMARM), y la Dra. Carmen Coletto (MMARM) por sus comentarios sobre el desarrollo del trabajo y los cálculos de los valores frontera entre clases de estado ecológico

### **Bibliografía**

- ACA (2004). *Caracterització, regionalització i elaboració d'eines d'establiment de l'estat ecològic de les zones humides de Catalunya*. Barcelona.
- ACA (2006). *ECOZO. Protocol d'avaluació de l'estat ecològic de les zones humides*. Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona.
- Alonso, M (1998). Las Lagunas de la España peninsular. *Limnetica* 15: 1-176. Asociación Española de Limnología, Madrid.
- BOE (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica, BOE nº 229: 38472-38582.
- Boix, D., Gascón, S., Gifre, J., Moreno-Amich, R., Martinoy, M., Quintana, X.D. & Sala, J. 2004. *Caracterització, Regionalització i Elaboració d'eines d'establiment de l'estat ecològic de les zones humides de Catalunya*. Agència Catalana de l'Aigua, Generalitat de Catalunya, Barcelona. 90 pàgs.
- Boix, D., Gascón, S., Sala, J., Martinoy, M., Gifre, J. & Quintana, X.D. 2005. A new index of water quality assessment in Mediterranean wetlands based on crustacean and insect assemblages: the case of Catalunya (NE Iberian peninsula). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15: 635-651.
- Boix, D., Caiola, N., Cañedo-Argüelles, M., Gascón, S., Ibàñez, C., Nebra, A., Quintana, X.D., Rieradevall, M., Sala, J. Sánchez-Millaruelo, N., Solà, C. & Munné, A. 2010. *Avaluació de l'estat ecològic de les zones humides i ajust dels indicadors de qualitat. Índexs QAELS<sup>e</sup> 2010, ECELS i EQAT*. Agència Catalana de l'Aigua, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. Barcelona. 209 pàg.
- De Cáceres, M. (2007). Ginkgo. User's manual v. 1.4. Universitat de Barcelona. URL:

<http://biodiver.bio.ub.es/vegana/resources/help/ginkgo/Manual%20de%20GINKGO%201.4%20-%20ENG.pdf>, Barcelona

- De Cáceres, M. (2010). VegAna. Vegetation editions and Analysis. URL: <http://biodiver.bio.ub.es/vegana/> , Barcelona.
- CEDEX (2008). *Estado ecológico de las aguas superficiales. Ampliación y actualización e la tipología lagos*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- CEDEX (2009). *Actualización de los ecotipos en las masas de agua superficiales y asistencia técnica en el diseño del sistema de clasificación del estado ecológico. Condiciones de referencia y establecimiento de clases ecológicas: ríos, lagos y embalses. Selección preliminar de posibles estaciones de referencia en lagos*. Madrid.
- CEDEX (2010). *Establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico en masas de agua de la categoría lago para los elementos de calidad “Composición, abundancia y biomasa de fitoplancton” y “Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática”, en aplicación de la Directiva Marco del Agua*. Madrid.
- Central Baltic Lake GIG (2005). *Milestone 6 report – Lake GIGs. Geographical Intercalibration Group – Central Lakes*. Luxembourg
- CIS Working Group 2A - ECOSTAT (2003). *Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential*. Luxembourg
- CIS Guidance Document (2003). *Horizontal Guidance on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive*. Luxembourg
- CIS Working Group 2.3. – REFCOND (2005). *Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Final Version*. Luxembourg

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

- DOCE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 por la que se establece el marco común de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE nº L327: 1-73, de 22 de diciembre de 2000. Bruselas.
- DOCE (2008) Commission Decision of 30 October 2008, establishing, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council, the values of the Member State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise. DOCE nº L332: 20-44, de 10 de diciembre de 2008. Bruselas.
- EPA (2000). *Nutrient Criteria. Technical Guidance Manual. Lakes and Reservoirs. First Edition.* Washington.
- Mediterranean Lake GIG (2007). *Milestone 6 Report – Lake GIGs. Geographical Intercalibration Group – Mediterranean Lakes.* Luxembourg
- MMA (2005). *Directiva 2000/60/CE. Análisis de las características de las demarcaciones. Caracterización de los tipos de ríos y lagos. V. 4.0.* Madrid.
- MARM (2010). *Consultoría y asistencia técnica para la explotación de la red de referencia española en aplicación del Anexo II de la Directiva Marco del Agua “Informe de síntesis de la red de referencia”.* Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Informe técnico elaborado por Red Control, S.L. para el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Vollenweider, R.A., Giovardani, F., Montarani, G. & Ribaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal Waters with especial reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9: 329-357.

## **Anexo I: Protocolo de muestreo de invertebrados bentónicos en lagos**

### **Aplicabilidad**

Este protocolo de muestreo y laboratorio es de obligada aplicación en la explotación de las redes oficiales de evaluación del estado / potencial ecológico en cumplimiento de la Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua, que explotan las Confederaciones Hidrográficas (CCHH), bien directamente o a través de contratos de servicios.

Las estaciones en las que se utilizará este protocolo son las pertenecientes al programa de control de vigilancia, programa de control operativo, programa de control de investigación y redes de referencia.

Este protocolo corresponde al muestreo y análisis de las masas de agua naturales, muy modificados y artificiales de la categoría lagos (lagos, lagunas y humedales) que aparecen en la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), siendo aplicable para el cálculo de los indicadores que se desarrollen correspondientes al elemento de calidad fauna bentónica de invertebrados en lagos.

Con la información recopilada mediante este protocolo se obtienen datos válidos para el cálculo de las métricas siguientes:

- Índice ACCO (abundancia de cladóceros, copépodos y ostrácodos). Este índice se basa en la determinación de microzoobentos.
- Índice RIC (riqueza de insectos y crustáceos). Este índice se basa en la determinación de macrozoobentos.

La combinación de los resultados de ACCO y RIC permite, a su vez, el cálculo del índice IBCAEL para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua de la categoría lagos.

### **Objetivo**

La Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua, establece que los Estados miembros deberán poner en marcha programas de seguimiento. Estos programas deben permitir controlar y evaluar la composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.

La Directiva Marco del Agua establece que los métodos empleados para con-

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

Controlar los indicadores de evaluación de los elementos de calidad biológicos serán conformes a las normas internacionales o nacionales que garanticen el suministro de información de calidad y comparabilidad científica equivalentes.

Por lo tanto, el objetivo de este protocolo es establecer un método de muestreo de invertebrados bentónicos en lagos que garantice el cumplimiento de los requisitos mencionados anteriormente.

### **Normativa de referencia**

La normativa de referencia de este protocolo es la que se enumera a continuación:

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
- RD Legislativo 1/2001 por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas
- RD 907/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica
- Orden MAM/3207/2006 por el que se aprueba la ITC-MMA EECC-1/06 Instrucción técnica complementaria sobre determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de las aguas
- Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica
- Orden MAM/985/2006 por la que se desarrolla el régimen jurídico de las entidades colaboradoras de la administración hidráulica en materia de control y vigilancia de calidad de las aguas y de gestión de los vertidos al dominio público hidráulico

Así mismo se han considerado también los procedimientos establecidos en los siguientes documentos técnicos:



- “Presa de mostres de microcrustacis para ACCO”, recogido en el documento “Protocol d’avaluació de l’estat ecològic de les zones humides (ECOZO)” desarrollado por la Agencia Catalana del Agua. Abril de 2006
- “Presa de mostres de macroinvertebrats para RIC”, recogido en el documento “Protocol d’avaluació de l’estat ecològic de les zones humides (ECOZO)” desarrollado por la Agencia Catalana del Agua. Abril de 2006
- “Muestreo con salabre (dipping)”, recogido en el documento “Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro” (apartado 8.3.2.1.) Abril de 2005.

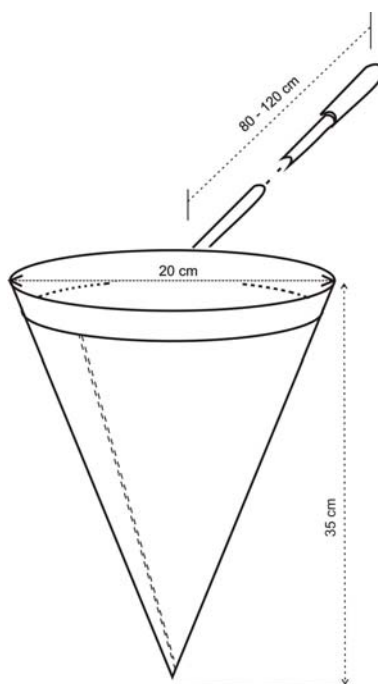
### **Equipos, reactivos y conservantes**

El equipo y los reactivos necesarios para la realización del muestreo son:

#### **Trabajo de campo**

##### Equipos y material para la recolección de las muestras

- Salabre (o red de mano o sacadera) de 100  $\mu\text{m}$  de abertura de poro, montado en aro de 20 cm de diámetro y mango entre 80-120 cm de largo para el muestreo según el protocolo ACCO (ver figura siguiente)
- Salabre (o red de mano o sacadera) de 250  $\mu\text{m}$  de abertura de poro, montado en aro de 20 cm de diámetro y mango entre 80-120 cm de largo para el muestreo según el protocolo RIC (ver figura siguiente)



**Figura 1: Modelo de salabre para el muestreo según los protocolos ACCO (con luz de malla de 100  $\mu$ m) y RIC (con luz de malla de 250  $\mu$ m).**

- Prefiltro de luz de malla gruesa (1 mm aproximadamente) para proteger el salabre de 100  $\mu$ m y evitar que se colmate con elementos gruesos (p. ej.: algas filamentosas).
- Lupa de campo de 20x aumentos para comprobación in situ de la muestra destinada al ACCO
- Bote de plástico de 30 - 50 ml de capacidad para recogida de la muestra destinada a la determinación del índice ACCO
- Vial de vidrio transparente para mirar la muestra in vivo con la lupa
- Bote de plástico de 250-500 ml de capacidad para recogida de la muestra destinada a la determinación del índice RIC
- Sonda multiparamétrica con sensores de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto
- Formaldehído (HCHO) 40 % o Alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) 96%.

- Hoja de campo.

### Equipos y material complementario

- Bolígrafo o rotulador permanente y lápiz (o cualquier otro método para etiquetar las muestras). Si se usan etiquetas, éstas deben ser resistentes a la humedad
- GPS
- Equipo de vadeo adecuado para las condiciones locales, con el equipo de seguridad apropiado. En casos muy excepcionales se requerirá también barca y equipo accesorio de navegación, así como chalecos salvavidas
- Neveras portátiles para transporte de la muestra
- Batea blanca de plástico
- Teléfono móvil
- Cámara digital
- Cartografía adecuada
- Cinta adhesiva y papel cebolla para rotular las muestras
- Fundas impermeables para fichas de campo

### **Trabajo de laboratorio**

Todo el material usado en campo deberá estar convenientemente limpio y desinfectado para evitar el transporte y la dispersión de propágulos o individuos de especies invasoras, siguiendo los protocolos establecidos por el Organismo de cuenca competente. Trabajo de laboratorio

### Equipos para el análisis de las muestras

- Red de 100  $\mu\text{m}$  de abertura de poro

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

- Formaldehído (HCHO) 40 % / Alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) al 96% y al 70 %.
- Estereomicroscopio de 40x equipado con luz diascópica
- Placas de Petri de 50 mm de diámetro con bandas marcadas del ancho del campo de visión del estereomicroscopio a 20x
- Disolución acuosa de glicerina
- Lupa simple
- Bandeja de plástico
- Claves de identificación de los elementos de calidad biológicos (MARM)
- Pinzas entomológicas
- Aguja enmangada
- Viales de plástico y otros recipientes con tapones herméticos

#### Equipos y material complementario

- Rotuladores indelebles
- Cinta adhesiva
- Tijeras

Tanto para el trabajo de campo como de laboratorio se deberán tomar todas aquellas medidas necesarias para garantizar que los trabajos se desarrollan en unas condiciones adecuadas de seguridad e higiene.

#### **Selección y delimitación del punto de muestreo**

El número de puntos de muestreo por masa de agua dependerá de las características de la misma. En general habrá un punto de muestreo por masa de agua, pero se podrá establecer más de uno en los casos en que, en función de la morfometría de la masa de agua o de sus criterios de gestión, se considere

oportuno. En cualquier caso se deberá justificar la elección del número y localización de los puntos de muestreo.

La ubicación de los puntos de muestreo adicionales, cuando los hubiera, tendrá en cuenta las características de las masas de agua para que resulte lo más representativa posible del conjunto teniendo en cuenta aspectos como la morfometría de la cubeta, profundidad, entrada de flujos, vegetación acuática, usos y posibles vertidos puntuales. Se deberán especificar las razones de la elección.

En cada punto de muestreo, el número y tipo de muestras necesarios dependerá de las características de la masa de agua, según el siguiente criterio:

- a) **Lagos y humedales someros ( $\leq 1$  m de profundidad máxima):** se muestreará en la zona litoral y en la zona interior.
- b) **Lagos y humedales de profundidad máxima  $> 1$  m, independientemente de si están o no estratificados:** se tomarán muestras exclusivamente en la zona litoral.

### **Frecuencia y época de muestreo**

La frecuencia intraanual y la época del año en la que se tomarán las muestras dependerá de las características de la masa de agua:

- a) **Lagos temporales (Tipos 5, 13, 17, 19, 21, 23, 30 y 24-26<sup>4</sup>).** Se realizarán dos muestreos al año durante la fase de inundación. El primero entre un mes después del comienzo del llenado y finales del invierno, aunque es preferible siempre retardar lo posible el muestreo dentro del mencionado ámbito temporal. El segundo se realizará a finales de primavera, antes de que se inicie el periodo de desecación estival. En el caso de masas de agua con periodo de inundación más efímero, los dos muestreos se distribuirán de forma equitativa a lo largo del mencionado periodo, con criterios similares a los del resto de masas de agua temporales, a menos que la inundación se mantenga por muy poco tiempo, en cuyo caso, se realizará un único muestreo.

---

<sup>4</sup> Frecuencias aplicables a los tipos de masas de agua del 24 al 26 que presenten hidroperíodo permanente.

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

- b) **Lagos permanentes de montaña (Tipos 1-4, 6-9)**. Se realizará un muestreo al año, en verano (julio o agosto) y se hará coincidir con la segunda campaña de muestreo de fitoplancton (en el caso de control de vigilancia).
- c) **Lagos permanentes de zonas bajas (Tipos 10-12, 14-16, 18, 20, 22 y 24-29)**. Se realizará un muestreo al año, durante la primera mitad del período estival, en torno al mes de julio.

En casos excepcionales, que deberán ser justificados, se podrá cambiar la época de muestreo. En cualquier caso, se deberán motivar las variaciones en la época de muestreo a la entrega de resultados.

El control de investigación tendrá unas frecuencias variables en cada estación de muestreo en función de las necesidades detectadas.

### **Procedimiento de muestreo**

En cada punto de muestreo se tomarán dos muestras diferentes, complementarias entre sí:

- Una muestra para la obtención de datos de abundancia de cladóceros, copépodos y ostrácodos que permita la determinación del índice ACCO. Este índice se basa en los crustáceos.
- Otra muestra para la obtención de datos de riqueza de insectos y crustáceos que permita la determinación del índice RIC.

Se trata, por lo tanto, de dos muestreos que se complementan en la escala espacial de muestreo (ACCO se centra en microhábitats y RIC en mesohábitats) y en el tamaño de los organismos que componen la comunidad de invertebrados bentónicos.

### **Toma de muestras**

#### Toma de muestras para ACCO

Es un muestreo para la determinación de crustáceos. Se muestrea en zonas vadeables del litoral con un salabre de 100 µm de abertura de poro. La red del salabre se dispondrá con la costura hacia dentro para facilitar la total retirada del material recogido. Se hacen pasadas, andando por el fondo lacustre, por

encima de los sustratos (rocas, vegetación, sedimento, etc.). Es preferible poner una red de 1 mm de abertura de malla protegiendo la boca del salabre para que no entren materiales que luego dificultan la observación de los organismos con la lupa binocular, como es el caso de las algas filamentosas.

Es preciso muestrear todos los hábitats diferentes que existen en la zona viable. Se anotará el número total de pasadas realizado. Este último dato proporciona información sobre el esfuerzo de muestreo.

En lagos oligotróficos de montaña, el muestreo debe ser lo suficientemente largo o intenso como para asegurar que se toma una muestra representativa. Se pasa el salabre entre las rocas y la vegetación (si la hay), removiendo energicamente la columna de agua para resuspender los organismos.

Si hay sedimento fino, el salabre se pasará por encima de su superficie, todo lo cerca posible de ella pero sin incorporar sedimento en la muestra. Se debe remover energicamente la columna de agua para que los organismos se resuspendan y entren en la red.

En todos los casos es especialmente importante impedir que entre sedimento directamente en la red de muestreo, ya que si esto ocurre, la calidad de la muestra desciende mucho y la labor posterior de identificación se dificulta.

Al acabar de muestrear, se deposita todo el contenido de la red, o parte de él, en un tubo de vidrio transparente con algo de agua. Debe quedar como una suspensión de pequeños organismos que se mueven. Se mira con una lupa de campo de 20x y se comprueba que haya organismos bentónicos (Chydoridae, Macrotrichidae, Cyclopidae, ostrácodos, etc). Si se ve una muestra opaca, sin aparentemente organismos de este tipo, hay que volver a muestrear con más cuidado. Posiblemente el salabre se haya colmatado con barro o con detritus y no se haya recogido el material necesario para la determinación del índice ACCO.

Cuando se dé por acabado el muestreo se introduce toda la muestra en un frasco de 30-50 ml, con algo de agua y se añade el conservante elegido (formaldehído, alcohol etílico o lugol, en el caso de zooplancton) tal y como se indica en el apartado 7.2.

#### Toma de muestras para RIC

Se emplea un salabre de luz de malla de 250  $\mu$ m. El muestreador se desplaza

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

por las zonas vadeables del lago, golpeando el fondo con el salabre y resuspendiendo los organismos del fondo, ya se encuentren sobre sedimento, vegetación sumergida o sustratos rocosos. Para ello en ocasiones resulta conveniente ayudarse de las manos y los pies. No suele resultar necesario proteger el salabre con la red de abertura de malla de 1 mm.

Las muestras así recogidas se disponen en una bandeja blanca con algo de agua y se observan en el campo. Cuando se considera que la muestra es representativa porque en pasadas sucesivas no aparecen nuevos taxones se limpia en lo posible de materiales gruesos (macrófitos, hojas, etc.), se recoge en un envase de 250-500 ml y se fija con formaldehído hasta una concentración del 4% tal y como se indica en el apartado 7.2.

### **Conservación, etiquetado y transporte de las muestras**

Todas las muestras y preparaciones deben estar convenientemente etiquetadas en el interior (papel cebolla con lápiz) y el exterior (etiqueta adhesiva con rotulador indeleble), de forma que se identifiquen mediante un código. Ambas etiquetas, al menos, deberán mostrar: el código de la campaña de muestreo, el código de la muestra, la fecha y, en el caso de haber utilizado más de un bote para guardar las muestras, esta información también deberá quedar registrada. La muestra recogida en el frasco de 30-50 ml será etiquetada indicando claramente que es para el cálculo del ACCO. Por otro lado, la muestra recogida en el envase de 250-500 ml será etiquetada indicando claramente que es para el cálculo del RIC.

Para conservar las muestras se puede usar:

- Alcohol etílico al 96% que se añadirá sobre el filtrado de la muestra una vez se haya retirado el exceso de agua hasta obtener una concentración de 70% v/v.
- Formaldehído al 40% que se añadirá sobre la muestra con agua hasta obtener una concentración en la muestra del 4% v/v. Se recomienda añadir primero sólo unas gotas para anestésiar a los invertebrados y evitar que adopten posturas rígidas que puedan dificultar su identificación y después de unos minutos añadir el resto del reactivo. El formaldehído es tóxico y su uso requiere la aplicación de medidas de seguri-



dad. En el campo se trabajará al aire libre, con guantes de látex, se evitarán derrames y se usarán recipientes herméticos adecuados. Se recomienda adicionar borato de sodio al formaldehído para evitar que se destruyan las partes calcáreas de los organismos.

En el transporte de las muestras del campo al laboratorio se tomarán las medidas necesarias para evitar la rotura de los botes de muestra o la liberación de vapores. Se recomienda usar botes herméticos y almacenarlos en neveras o cajas con tapa en lugar fresco evitando la exposición prolongada al sol.

### **Procesado y tratamiento de la muestra en laboratorio**

Previamente a la realización de cualquier manipulación de la muestra será preciso eliminar de ella el formaldehído. Esto se efectuará disponiendo la muestra sobre una red de 100  $\mu\text{m}$  de abertura de poro y recogiendo la solución de formaldehído filtrada en el mismo envase de la muestra para su reutilización o tratamiento como residuo peligroso. La muestra, una vez separada del formaldehído, se lavará con agua y se dispondrá en un nuevo envase sólo con agua. Al terminar la observación, la muestra para la determinación del ACCO volverá a fijarse con formaldehído al 4%. Los insectos separados podrán guardarse en alcohol etílico al 96 % y el resto de la muestra, se fijará con formaldehído al 4%.

### **Muestra del ACCO**

El contenido del envase para el ACCO se examinará utilizando un estereomicroscopio de 20x equipado con luz diascópica. Para ello se disponen fracciones de la muestra en placas de Petri, pero en cantidades que permitan ver los organismos por transparencia. Los diferentes taxones se separarán y se realizarán las observaciones necesarias para su determinación a **nivel de especie** siguiendo las guías y claves especializadas, apropiadas para la fauna ibérica. En la mayor parte de los casos, la determinación requiere la disección de las partes con significado taxonómico y su montaje en preparaciones microscópicas, con agua o una disolución acuosa de glicerina, para su observación con el microscopio a 400x, 1000x.

Como en el inventario aparecerán especies planctónicas y bentónicas mezcla-

IBCAEL: Evaluación del estado ecológico de los lagos españoles mediante invertebrados bentónicos.

das (particularmente de crustáceos), las primeras no deberán ser tenidas en cuenta en los lagos de los tipos definidos en la IPH del 1 al 12, por lo que será necesario que el especialista encargado de analizar la muestra sea conocedor de la autoecología y hábitos de cada género o cada especie.

El cálculo de las abundancias relativas de las diferentes especies se realizará mediante el recuento de un número de individuos suficientemente representativo. Para ello, y tras efectuar las determinaciones, se dispondrá una alícuota de la muestra en una placa de Petri de 50 mm de diámetro con bandas marcadas del ancho del campo de visión del estereomicroscopio a 20x y se contará la totalidad de individuos existentes de cada especie recorriendo todas las bandas mediante movimientos de la placa. La alícuota de muestra formará una película de suspensión acuosa de organismos que permitirá el paso de la luz para que éstos sean observados por transparencia.

### **Muestra del RIC**

El contenido del envase para el RIC se extenderá sobre una bandeja y se observará a simple vista, con la ayuda de una lupa simple, o bajo el estereomicroscopio equipado con luz episcópica. El nivel de identificación dependerá de las métricas a calcular. En el caso del RIC se requiere determinar los crustáceos, los coleópteros adultos y los hemípteros adultos a nivel de género, y las larvas, ninfas y pupas de todos los insectos (incluidos los coleópteros y hemípteros) como mínimo a nivel de familia siguiendo las guías y claves especializadas y aplicables a la península ibérica.

### **Procesado de los datos**

En cada lago y para cada muestreo se entregará la hoja de campo del Anexo 2 de este documento. Los resultados consistirán en un listado taxonómico completo de las especies identificadas y su abundancia en forma de número de individuos. Los taxones de grupos no incluidos en el cálculo de las métricas del índice IBCAEL serán igualmente identificados e incluidos en los resultados.

Para el cálculo del IBCAEL se ha elaborado una aplicación informática específica para el cálculo del índice.

**Anexo II: Hoja de campo IBCAEL**

**MUESTREO EN LAGOS PARA IBCAEL**

NOMBRE DEL LAGO	TIPO	LOCALIDAD	COORDENADAS	
			X:	
			Y:	
FECHA:		TÉCNICO:		
MICROHÁBITATS PRESENTES				% Recubrimiento
Rocas desnudas :	<input type="checkbox"/> Granito	<input type="checkbox"/> Caliza	<input type="checkbox"/> Pizarra	<input type="checkbox"/> Otros:
Sedimento blando sin vegetación :	Arcilla	<input type="checkbox"/> Limo	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Grava
Hidrófitos :	<input type="checkbox"/> Filamentosas	Caráceas	<input type="checkbox"/> Fanerógamas	
Helófitos :	<input type="checkbox"/> <i>Phragmites</i> spp.	<i>Typha</i> spp.	Otros:	
CALIDAD DEL AGUAS				
Conductividad eléctrica a 20°C:				
Turbidez:	Transparente	Turbia	<input type="checkbox"/> Algo turbia	<input type="checkbox"/> Muy turbia
Color:	Incolora	Verde	Amarillenta	Rojiza
	Tabaco	Blanco	Gris	Marrón claro
	Marrón oscuro	Otros:		
HIDROLOGÍA				
Máximo llenado				
No lleno del todo <input type="checkbox"/> Metros por debajo nivel máximo:				
INVERTEBRADOS DEL ACCO (Cladóceros, copépodos, ostrácos y grandes branquiópodos)				
INVERTEBRADOS DEL RIC (adultos de coleópteros y heterópteros y familias de larvas y pupas de insectos)				