



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Utilización de distintas metodologías para la evaluación de la calidad de las aguas superficiales correspondientes a zonas protegidas de la cuenca del Ebro.

Use of different methodologies for the evaluation of the quality of Surface water corresponding to protected areas of the Ebro basin.

Autor/es

Javier Crespo Pérez

Director/es

Natividad Miguel Salcedo

RESUMEN

La Directiva Marco del Agua (DMA, 2000/60/CE) es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas y cuyo objetivo principal es conseguir un buen estado de las aguas para el año 2015. Para lograr el objetivo marcado por la DMA, es necesario implantar un marco de actuación común y de cumplimiento total por parte de todas las administraciones competentes y que éstas realicen un control y monitorización temporal y espacial de las aguas pertenecientes a cada cuenca hidrográfica.

En la cuenca del Ebro se viene desarrollando un control y monitorización del estado de las aguas superficiales por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHEBRO). Para llevar a cabo el control y monitorización de las aguas se modificaron de manera progresiva, las redes de control existentes y se crearon otras nuevas, adaptando los controles a los programas de seguimiento (control de vigilancia, control operativo, control de zonas protegidas) y a los indicadores determinados por la DMA. Los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales en la cuenca del Ebro están determinados por lo impuesto en el RD 817/2015.

El control del estado de las masas de agua es llevado a cabo mediante el cálculo del Estado Químico (EQ), Estado Ecológico (EE) y Estado de las masas de agua superficiales (EF). A su vez, tal y como establece el RD 817/2015, se realiza un control adicional de las aguas superficiales destinadas al abastecimiento humano incluidas dentro de las Zonas Protegidas. El control del estado de las masas de agua se realiza mediante el uso de metodologías normalizadas y validadas con el fin de obtener un diagnóstico que refleje de manera veraz la realidad de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica del Ebro. Así pues, se han analizado más de 140 puntos de control con más de 200 parámetros por punto.

Aparte de los métodos propuestos por el RD 817/2015, existen otros desarrollados por organizaciones e instituciones internacionales que pueden suponer una alternativa o complemento a los propuestos por la legislación. En el presente estudio, de manera complementaria, se ha calculado el Water Quality Index (WQI) y los Índices de Contaminación (ICOs).

El presente estudio evalúa la calidad de las aguas superficiales pertenecientes a zonas protegidas de la cuenca del Ebro, utilizando diferentes metodologías de diagnóstico y estudia la influencia de diferentes parámetros en la evaluación de esta calidad. Así pues, cada uno de los métodos empleados que impliquen similares parámetros en su determinación, son comparados con el fin de evaluar el grado de concordancia de sus resultados.

Palabras clave: Calidad del agua, Índice de calidad, Estado de las masas de agua.

ABSTRACT

The Water Framework Directive (WFD, 2000/60 / EC) is a norm of the European Parliament and of the Council that establishes a framework for Community action in the field of water policy and whose main objective is to achieve a good state of water for 2015. To achieve the objective set by the WFD, it is necessary to implement a common framework of action and full compliance by all competent administrations and that these perform a temporal and spatial control and monitoring of the waters belonging to each river basin.

In the Ebro basin, a control and monitoring of the state of the surface waters has been developed by the Ebro Hydrographic Confederation (CHEBRO). In order to carry out the control and monitoring of the waters, the existing control networks were modified progressively and new ones were created, adapting the controls to the monitoring programs (control of surveillance, operational control, control of protected areas) and the indicators determined by the WFD. The criteria for monitoring and evaluating the state of surface waters in the Ebro basin are determined by the provisions of Royal Decree 817/2015.

The control of the state of the water bodies is carried out by calculating the Chemical State (EQ), Ecological State (EE) and State of the surface water bodies (EF). In turn, as established by RD 817/2015, an additional control is made of the surface waters destined for human supply included within the Protected Areas. The control of the state of the bodies of water is carried out through the use of standardized and validated methodologies in order to obtain a diagnosis that truthfully reflects the reality of the water quality of the Ebro river basin. They have analyzed more than 140 control points with more than 200 parameters per point.

Apart from the methods proposed by the RD 817/2015, there are others developed by international organizations and institutions that may be an alternative or complement to those proposed by legislation. In the present study, in a complementary manner, the Water Quality Index (WQI) and the Pollution Indices (ICOs) have been calculated.

The present study evaluates the quality of surface waters belonging to protected areas of the Ebro basin, using different diagnostic methodologies and studies the influence of different parameters in the evaluation of this quality. Thus, each of the methods employed that imply similar parameters in their determination, are compared in order to evaluate the degree of agreement of their results.

Keywords: Water quality, Quality index, Water body status.

ÍNDICE

1. Introducción.....	pág.1
2. Control de la calidad de aguas superficiales.....	pág.3
2.1. Control del estado de las masas de agua.....	pág.3
2.1.1. Legislación.....	pág.3
2.1.2. Determinación del Estado Químico, el Estado Ecológico y el Estado de las aguas superficiales.....	pág.5
2.1.3. Redes de control.....	pág.6
2.2. Índices de calidad e índices de contaminación.....	pág.6
2.2.1. Generalidades.....	pág.6
2.2.2. Índice de calidad del agua (WQI) de la Fundación Nacional de Saneamiento (USA).....	pág.7
2.2.3. Índices de Contaminación (ICOs).....	pág.10
3. Procedimiento experimental.....	pág.14
3.1. Puntos de control en la cuenca del Ebro.....	pág.14
3.2. Parámetros de control sistemático y frecuencia de análisis.....	pág.16
3.3. Determinación de la calidad del agua mediante diferentes metodologías.....	pág.19
4. Diagnóstico de la calidad.....	pág.21
4.1. Calidad del agua según los criterios establecidos en la legislación vigente.....	pág.21
4.1.1. Estado Químico, Estado Ecológico y Estado Final.....	pág.21
4.2. Calidad del agua aplicando el WQI.....	pág.26
4.3. Calidad del agua aplicando los ICOs.....	pág.28
4.4. Comparativa de las metodologías de diagnóstico.....	pág.31
5. Comparativa con estudios anteriores.....	pág.33
6. Conclusiones.....	pág.39
7. Bibliografía.....	pág.40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros considerados en el cálculo del WQI.....	pág.7
Tabla 2.2 Ajustes propuestos para el cálculo del WQI.....	pág.8
Tabla 2.3 Clasificación del agua según el WQI.....	pág.10
Tabla 2.4 Índices de contaminación propuestos por Ramirez et al y sus parámetros implicados.....	pág.11
Tabla 2.5 Fórmulas empleadas en el cálculo de los ICOs.....	pág.12
Tabla 2.6. Calidad del agua en función de los valores de los ICOs.....	pág.12
Tabla 3.1 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales de las Zonas Protegidas.....	pág.15
Tabla 3.2 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por provincias.....	pág.16
Tabla 3.3 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por población abastecida.....	pág.16
Tabla 3.4 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales en zonas vulnerables por provincias.....	pág.16
Tabla 3.5 Agrupaciones de parámetros para el control DMA prepotables según frecuencias de determinación).....	pág.17
Tabla 3.6 Frecuencias de muestreo aplicadas en el control DMA prepotables.	pág.18
Tabla 3.7 Parámetros determinados en los puntos de control de nutrientes....	pág.18
Tabla 3.8 : Criterio para los resultados microbiológicos.....	pág.19
Tabla 3.9: Factores recalculados con los parámetros de este estudio.....	pág.20
Tabla 4.1 Estado Químico determinado en los puntos de muestreo.....	pág.21
Tabla 4.2 Puntos en los que el EQ resulta No bueno y detalles del incumplimiento.....	pág.22
Tabla 4.3 Estado Ecológico determinado en los puntos de muestreo.....	pág.23
Tabla 4.4 Puntos en los que el EE resulta Moderado/Deficiente y Deficiente/Malo.....	pág.23
Tabla 4.5 Estado de las masas de agua superficiales determinado en los puntos de muestreo.....	pág.25
Tabla 4.6 WQI determinado en los puntos de muestreo.....	pág.27
Tabla 4.7 Resultado del diagnóstico de puntos siguiendo el ICOMO.....	pág.28
Tabla 4.8 Puntos en los que el posee un grado de contaminación Alto o Muy Alto.....	pág.29
Tabla 4.9 Resultado del diagnóstico de puntos siguiendo el ICOMIN.....	pág.29

Tabla 4.10 Puntos en los que el ICOMIN posee un grado de contaminación Alto o Muy Alto.....	pág.30
Tabla 5.1 Puntos de muestreo clasificados por comunidades autónomas y provincias en el año 2016.....	pág.34
Tabla 5.2 Puntos de muestreo clasificados por comunidades autónomas y provincias en el año 2011.....	pág.34
Tabla 5.3 Puntos que no cumplen con un buen Estado Químico y motivos del incumplimiento.....	pág.35
Tabla 5.4 Resumen de la comparativa del diagnóstico mediante el Estado Ecológico en los estudios de 2011 y 2016.....	pág.36
Tabla 5.5 Resumen de la comparativa del diagnóstico mediante el Estado Ecológico en los estudios de 2011 y 2016.....	pág.37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curva de estandarización asociada a la variable WQI.....	pág.8
Figura 2.2 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de DBO.....	pág.12
Figura 2.3 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de Coliformes.....	pág.13
Figura 2.4 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de Oxígeno.....	pág.13
Figura 4.1 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EQ.....	pág.21
Figura 4.2 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EE.....	pág.23
Figura 4.3 Aguas superficiales y subterráneas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro durante los años 2012/2015.....	pág.24
Figura 4.4 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EF.....	pág.26
Figura 4.5 Histograma de los resultados de WQI en los puntos de muestreo...	pág.27
Figura 4.6 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del WQI.....	pág.27
Figura 4.7 Histograma de los resultados de los ICOs en los puntos de muestreo.....	pág.28
Figura 4.8 ICOMO calculados en los puntos de la red de abastecimiento.....	pág.29
Figura 4.9 ICOMIN calculados en los puntos de la red de abastecimiento.....	pág.30
Figura 4.10 Representación del WQI para cada punto de muestreo. Comparación con el EF.....	pág.31
Figura 4.11 Representación del ICOMO para cada punto de muestreo. Comparación con el EF.....	pág.32
Figura 4.12 Representación del ICOMIN para cada punto de muestreo. Comparación con el Estado Final.....	pág.33
Figura 5.1 Estado Ecológico de los puntos de muestreo en 2011.....	pág.36
Figura 5.2 Estado Final de los puntos de muestreo en 2011.....	pág.36
Figura 5.3 Histograma de los resultados del WQI en los puntos de muestreo en el año 2011.....	pág.37
Figura 5.4 Histograma de los resultados de los ICOs en los puntos de muestreo en el año 2011.....	pág.38

ANEXOS

ANEXO I: NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL (NCA)

ANEXO II: ESTADO ECOLÓGICO

II.1-Indicadores

II.2 Masas de agua superficiales

II.3-Umbrales del Estado Ecológico (informe de situación de la cuenca 2011, CHE)

ANEXO III: AGUAS PREPOTABLES

ANEXO IV: PUNTOS DE MUESTREO

IV.1-Mapa de los puntos de muestreo

IV.2-Identificación de los puntos de muestreo

IV.3-Parámetros analizados en el laboratorio de la CHE en 2011

ANEXO V: DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA

V.1-Resultado de análisis físicos, químicos y microbiológicos

V.2-Estado Ecológico, Estado Químico y Estado Final

V.3-Ley de aguas prepotables

V.4-Water Quality Index (WQI)

V.5- Índices de Contaminación (ICO)

MEMORIA

1- INTRODUCCIÓN

Las aguas de la Unión Europea están sometidas a una continua presión debido al continuo crecimiento del consumo, de la demanda de buena calidad de las aguas y en cantidades suficientes para bastecer a todos los usuarios y usos. Debido a estas razones, surge la necesidad de adoptar diversas medidas para proteger las aguas tanto en términos cualitativos como cuantitativos y garantizar así su sostenibilidad. El 22 de diciembre del 2000 entró en vigor la Directiva Marco del Agua (DMA, Directiva 2000/60/CE) y estableció un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Mapama, Gobierno de España).

La DMA establece que los Estados Miembros deben garantizar la calidad y comparabilidad de los métodos empleados para efectuar el seguimiento y evaluación del estado de las aguas. En consecuencia, es necesario disponer de criterios homogéneos y básicos de diseño de los programas de seguimiento que permitan disponer de una visión general, coherente y completa del estado y calidad de las aguas, y que sean adoptados por todas las administraciones hidráulicas con objeto de garantizar un enfoque homogéneo, equitativo y comparable.

La evaluación del estado o diagnóstico de calidad de las masas de agua es un elemento esencial en la aplicación de la legislación de aguas nacional y europea. El estado de las masas de agua viene determinado por el Estado Químico y el Estado Ecológico. El Real Decreto 817/2015, del 11 de septiembre, establece los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Así mismo define las Zonas Protegidas, que se componen de zonas en las que se realiza una captación de agua destinada a la producción de agua de consumo humano y zonas que, de acuerdo con el respectivo plan hidrológico, se vayan a destinar en un futuro a la captación de agua destinada a la producción de agua de consumo humano, zonas designadas para la protección de especies acuáticas significativas desde un punto de vista económico, masas de agua declaradas de uso recreativo y zonas sensibles en lo que respecta a nutrientes, incluidas las zonas declaradas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE y las zonas declaradas sensibles en el marco de la Directiva 91/271/CEE.

El RD 817/2015 establece que para evaluar el estado de una masa de agua superficial es necesario determinar: el Estado Químico (EQ), el Estado Ecológico (EE) y el Estado de las Aguas Superficiales (EF). Los dos primeros, están basados en expresiones que evalúan la calidad de las aguas mediante la comparación de valores registrados de los diferentes parámetros involucrados en cada estado, con los umbrales de estado fijados por las NCA, en caso del EQ, y con los umbrales fijados por las condiciones de referencia y

límites de cambio de clase de estado en el EE. El EF es una expresión general del estado de una masa de agua superficial y viene determinada por el peor valor del EQ y el EE.

Además de los métodos establecidos por la legislación vigente, existen los denominados índices de calidad. Se definen como una expresión que combinando parámetros evalúa la calidad del agua y permite obtener información para las posibles actuaciones posteriores. Puede tratarse de un número, rango, descripción verbal, símbolo o color. Pueden ser una alternativa o complemento a los convencionalmente utilizados. Tal es el caso del Water Quality Index o los Índices de Contaminación desarrollados por Ramírez et al, 1997 (Fernández, 2005; Sánchez et al, 2007; Hurley et al, 2012).

Estos índices de calidad fueron formulados con el propósito de simplificar en un único valor, en una escala del 0-1 (ICOs) o del 0-100 (WQI), la condición general de una muestra de agua, gracias a conjugar en ellos numerosas variables físicas y químicas de diferente índole (Martínez de Bascaran, 1976; Prat et al., 1986; MOPT, 1992).

Con el fin de cumplir con los objetivos fijados por la DMA y aplicar los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha adaptado sus programas y redes de control. Durante el año 2016, la red de control de aguas superficiales, controló 152 puntos pertenecientes a zonas protegidas. Estos puntos de control se encuentran distribuidos por toda la cuenca del Ebro y en ellos se analizan más de 200 parámetros biológicos, químicos, físico-químicos e hidromorfológicos. Los datos y muestras son tomados in situ por operarios o estaciones de muestreo y son transportados a los laboratorios de la Confederación Hidrográfica del Ebro para ser tratados y/o analizados. Es necesario resaltar la necesidad de que las diferentes mediciones y análisis sean desarrolladas siguiendo una metodología común y validada para obtener unos resultados veraces y acordes a la realidad.

Objetivos:

El principal objetivo de este estudio es evaluar la calidad de las aguas superficiales pertenecientes a zonas protegidas de la cuenca del Ebro, utilizando diferentes metodologías de diagnóstico y estudiar la influencia de diferentes parámetros en la evaluación de esta calidad.

Los objetivos secundarios son:

- Realizar una recopilación de datos históricos de resultados de control de aguas superficiales de la cuenca del Ebro en el año 2016

- Evaluar la calidad de estas aguas mediante distintas metodologías como son el EQ, EE, EF, WQI e ICOs.
- Comparar las diferentes metodologías de determinación de calidades de aguas superficiales.
- Comparar los resultados obtenidos con otros previos para determinar el nivel de conformidad e implementación de las disposiciones presentes en la DMA.

2- CONTROL DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

2.1 – Control del estado de las masas de agua

2.1.1. Legislación

Para aplicar correctamente la legislación de aguas nacional y europea, es necesario evaluar el estado de las aguas. Este proceso de evaluación debe ser aplicado por todas las administraciones hidráulicas de una manera objetiva y aproximada a la realidad y debe encontrarse dentro de un marco legal que le aporte legitimidad jurídica.

El 23 de Octubre del 2000, el Parlamento y Consejo Europeo y publicó el texto refundido de la Directiva Marco del Agua (DMA) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Esta directiva determina las pautas para el control y vigilancia de las masas de agua superficiales con el objetivo de conseguir un buen estado de las mismas para el año 2015. (Lopez, 2013)

Los artículos 6 y 7 de esta Directiva hacen referencia al registro de zonas protegidas. Señalan la necesidad de establecer uno o más registros de todas las zonas incluidas en cada demarcación hidrográfica que hayan sido declaradas objeto de una protección especial y realizar un control específico en dichas zonas.

El Real Decreto 817/2015 establece los criterios básicos y homogéneos para el diseño y la implantación de los programas de seguimiento del estado de las masas de agua superficiales y para el control adicional de las zonas protegidas. (RD 817/2015)

A su vez, registra las normas de calidad ambiental (NCA) para las sustancias prioritarias y otros contaminantes con objeto de conseguir un buen Estado Químico de las aguas superficiales. También se registran las NCA para las sustancias preferentes y se fija el procedimiento para calcular las NCA de los contaminantes específicos con objeto de conseguir un buen Estado Ecológico de las aguas superficiales o un buen potencial ecológico de dichas aguas, cuando proceda. Los límites y las sustancias contaminantes que deben controlarse de acuerdo con la DMA en aguas superficiales se encuentran recogidos en la Tabla I.1, del anexo I.

También establece las condiciones de referencia y los límites de clases de estado de los indicadores de los elementos de calidad biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos para clasificar el estado o potencial ecológico de las masas de agua superficiales.

Por último, dicta las disposiciones mínimas para el intercambio de información sobre estado y calidad de las aguas entre la Administración General del Estado y las administraciones con competencias en materia de aguas, con el fin de cumplir con la legislación que regula los derechos de acceso a la información y de participación pública.

Los criterios establecidos en este real decreto serán de aplicación a todas las aguas superficiales definidas a continuación:

- Aguas continentales: Todas las aguas en la superficie del suelo, y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.
- Aguas costeras: Las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentren a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.
- Aguas de transición: Masas de agua superficiales próximas a las desembocaduras de los ríos y que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce.
- Aguas subterráneas: Todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.
- Aguas superficiales: Las aguas continentales, excepto las aguas subterráneas; las aguas de transición y las aguas costeras, y, en lo que se refiere al Estado Químico, también las aguas territoriales.
- Aguas superficiales continentales: Todas las aguas quietas o corrientes en la superficie de la tierra que no entran en las categorías de aguas costeras ni de aguas de transición. Incluyen ríos y lagos y las masas de agua artificiales o muy modificadas asimilables a estas categorías. (RD 817/2015)

2.1.2 – Determinación del Estado Químico, el Estado Ecológico y el Estado de las aguas superficiales.

- Estado Ecológico:

El Estado Ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales clasificado con arreglo al Real Decreto 817/2015.

Para evaluar el Estado Ecológico se toman en consideración:

- Elementos de calidad biológicos.
- Elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos.
- Elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos.

El Estado Ecológico final se evalúa mediante el análisis de conformidad de la concentración de los diferentes elementos descritos anteriormente.

Para ello, se comparan los valores de los parámetros biológicos, químicos y físico-químicos obtenidos en los puntos de control con los umbrales presentes en el anexo II del RD 817/2015 y recopilados en el anexo 2 del presente trabajo. Estos umbrales definen cada uno de los cuatro posibles estados ecológicos para una masa de agua superficial: Muy Bueno/Bueno, Bueno/Moderado, Moderado/Deficiente y Deficiente/Malo. En el anexo II se detallan los índices y parámetros específicos analizados y los umbrales para el diagnóstico del estado ecológico en función del tipo de masa de agua (tablas II.1, II.2 y II.3 del anexo II). La tabla I.2 del anexo I muestra la lista de sustancias Preferentes.

El Estado Ecológico de cada uno de los puntos de control viene definido por el peor estado de cada uno de los elementos de calidad biológicos, químicos, físico-químicos e hidromorfológicos.

- Estado Químico:

El Estado Químico es una expresión de la calidad de las aguas superficiales que refleja el grado de cumplimiento de las NCA de las sustancias prioritarias y otros contaminantes del anexo IV del Real Decreto 817/2015.

El Estado Químico de una masa de agua se evalúa mediante el análisis de conformidad de la concentración de las sustancias prioritarias y otros contaminantes con las NCA recogidas en el anexo IV del RD 817/2015. Para ello, se comparan los valores de los parámetros químicos obtenidos en los puntos de control, con las NCAs presentes en el

anexo IV del RD 817/2015. Todas las sustancias Prioritarias en agua y biota junto con los límites establecidos se muestran en la tabla I.1 anexo I.

Estos valores definen el Estado Químico para una masa de agua superficial en Bueno e Inferior a bueno. El Estado Químico de cada uno de los puntos de control viene definido por el peor estado de cada una de las sustancias prioritarias y contaminantes.

- Estado de las Aguas Superficiales:

El Estado de las Aguas Superficiales viene determinado por el peor valor de su Estado Ecológico y de su Estado Químico. El Estado de las Aguas Superficiales es inferior a bueno si el Estado Ecológico es moderado, deficiente o malo o si no alcanza el buen Estado Químico. En el resto de casos se considera un estado de las aguas superficiales Bueno.

2.1.3 - Redes de control

La DMA y el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) disponen que se establecerán programas de seguimiento del estado de las aguas con objeto de obtener una visión general, coherente y completa del estado de las aguas. Las redes de control del agua son, por lo tanto, fundamentales en la evaluación del estado de las masas de agua superficiales (CHJ, 2016)

La Confederación Hidrográfica del Ebro modificó en 2006 las redes de control de aguas superficiales, adaptando esos controles a los programas de seguimiento y a los indicadores determinados por la DMA. (CHEBRO, 2011).

Según la tipología de los ríos o embalses sometidos a seguimiento y control, las masas de agua se pueden clasificar con arreglo a lo establecido en la tabla II.2 del anexo II.

2.2 – Índices de calidad e índices de contaminación

2.2.1 - Generalidades

Un Índice de Calidad Ambiental (ICAM) es un número único que expresa la calidad del agua mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Torres, P. et al, 2009)

Para simplificar la interpretación de los datos obtenidos del monitoreo de aguas, existen índices de calidad de agua (ICA) e índices de contaminación (ICO), los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación entre técnicos, administradores ambientales y el público en general. La principal diferencia

entre unos y otros está en la forma de evaluar los procesos de contaminación y el número de variables tenidas en cuenta en la formulación del índice respectivo. (Torres, P. et al, 2009)

Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas. Las bondades resultan mayores cuando se evalúa una cantidad amplia de cursos hídricos, o incluso, si solamente se estudia uno, pero en forma periódica. (Ramirez et al, 1999)

Si bien el desarrollo de los ICA ha jugado un papel muy importante en el contexto ecológico y medio ambiental, sus debilidades constituyen un obstáculo importante para su aplicación, ya que al concentrarse en un único número la cualidad de un cuerpo de agua, se produce una inmensa pérdida de información (en concordancia con Behar *et al.* 1997), y con ello, se enmascara la condición real y los cambios que se suceden sobre un curso hídrico. (Ramirez et al, 1997)

2.2.2 - Índice de calidad del agua (WQI) de la Fundación Nacional de Saneamiento (USA)

El Water Quality Index (WQI) es un índice de calidad de aguas propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF) perteneciente al gobierno de los Estados Unidos de América.

En la tabla 2.1 se recogen los parámetros utilizados en el cálculo del WQI.

Tabla 2.1 Parámetros considerados en el cálculo del WQI.

WQI	Parámetros a considerar
	Oxígeno Disuelto (OD)
	Coliformes Fecales (CF)
	pH
	Sólidos en suspensión (SS)
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
	Nitratos (NH3)
	Fosfatos (PO4-3)

Para calcular el índice de calidad WQI, se asignan factores de ponderación a cada una de las variables en las que se fundamenta, determinándose de la siguiente forma (Krenkel y Novotny, 1980):

$$WQI = \sum_{i=1}^9 W_i \times [2.1]$$

W_i denota el factor de importancia o ponderación de la variable i respecto a las restantes variables que conforman el índice, y Q_i corresponde al factor de escala de la misma. Este último depende de la magnitud de la variable, es independiente de las restantes y se estima de acuerdo con diagramas construidos para cada variable que permiten llevarlas a una misma escala antes de ser agregadas en un sólo valor. Este único valor comprende un rango de 0 (Muy mala calidad) a 100 (Excelente calidad). (Jimenez M.A. et al, 2006)

Teniendo en cuenta el elevado número de puntos de medición definidos en la cuenca y lo complejo que resulta obtener los factores de escala Q_i directamente de los diagramas, se han elaborado ajustes polinómicos a las curvas de estandarización asociadas a cada variable, como se puede apreciar en la figura 2.1.

La figura 2.1 Muestra el diagrama de ajuste del parámetro Nitratos. En el eje X se representa la concentración en ppm de nitratos y en el eje Y se representa la calidad asociada a cada concentración.

En la tabla 2.2 se muestran los ajustes propuestos mediante ecuaciones de regresión.

La tabla 2.3 recoge la Clasificación del agua según el WQI

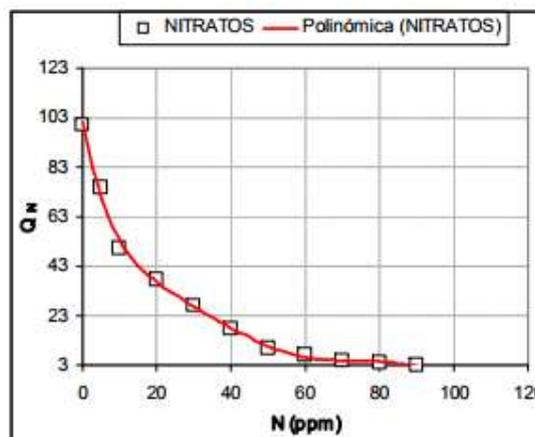


Figura 2.1 Curva de estandarización asociada a la variable WQI.

Tabla 2.2 Ajustes propuestos para el cálculo del WQI

PARÁMETRO	AJUSTE
% Saturación de oxígeno	$*QOD = 3,1615E08(OD\%)^5 - 1,0304E05(OD\%)^4 + 1,0076E-03(OD\%)^3 - 2,7883E02(OD\%)^2 + 8,4068E01(OD\%) - 1,6120E01$ $*R^2 = 0,9995$ <p><u>donde</u> QOD: Factor de escala Oxígeno disuelto. OD%: Oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación</p>
Demanda bioquímica de oxígeno	$*QDBO = 1,8677E04(DBO)^4 - 1,6615E02(DBO)^3 + 5,9636E-01(DBO)^2 - 1,1152E+01(DBO) + 1,0019E+02$ $*R^2 = 0,9989$ <p><u>donde</u> QDBO: Factor de escala demanda bioquímica de oxígeno. DBO: demanda bioquímica de oxígeno en mg/l</p>
Coliformes fecales	$*\ln(QColi) = 0,0152(\ln C)^2 - 0,1063(\ln C) + 4,5922$ $*R^2 = 0,999$ <p><u>donde</u> QColi: Factor de escala coliformes fecales C: Coliformes fecales como NMP</p>
Nitratos	$*QNitra = 3,5603E09N^6 - 1,2183E06N^5 + 1,6238E-04N^4 - 1,0693E02N^3 + 3,7304E01N^2 - 7,5210N + 1,0095E+02$ $*R^2 = 0,9972$ <p><u>donde:</u> QNitra: Factor de escala Nitratos N: Concentración de Nitratos en mg/l</p>
pH	<p>Para pH < 7,5</p> $QpH = 0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$ $R^2 = 0,9981$ <p>Para pH > 7.5</p> $QpH = 1.11429pH^4 + 44.50952pH^3 - 656.60000pH^2 + 4215.34762pH - 9840.14286$ $*R^2 = 1.0000$ <p><u>donde</u> QpH: Factor de escala pH pH: Nivel de pH</p>
Sólidos en suspensión	$*QST = 4,4289E09ST^4 + 4,650E06 ST^3 - 1,9591E03 ST^2 + 1,8973E01 ST + 8,0608E+01$ $*R^2 = 0,9977$ <p><u>donde:</u> QST: Factor de escala Sólidos Totales. ST: Sólidos totales en mg/l.</p>
Fosfatos	$*QP = 4,67320E03P^6 - 1,61670E01P^5 + 2,20595P^4 - 1,50504E+01P^3 + 5,38893E+01P^2 - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$ $*R^2 = 0,9994$ <p><u>donde:</u> QP: Factor de escala Fosfatos. P: Fosfatos en mg/l.</p>

Tabla 2.3 Clasificación del agua según el WQI

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN	LEYENDA
0 - 25	Calidad muy mala (MM)	
26 - 50	Calidad mala (M)	
51 - 70	Calidad media (R)	
71 - 90	Calidad buena (B)	
91 - 100	Calidad excelente (E)	

2.2.3 – Índices de contaminación ICOs

Los Índices de Contaminación (ICO) propuestos por Ramírez et al. (1997), están basados en técnicas de agregación aritmética de parámetros presentes en diferentes procesos de contaminación. (Jimenez M.A. et al, 2006)

Para elaborar los Índices de contaminación, Ramírez et al llevaron a cabo la caracterización fisicoquímica de un grupo de masas de agua continentales situadas en Colombia, mediante la metodología ACP ó Análisis de Componentes Principales.

La ACP es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. (Gurrea, M., 2000)

La relación del ACP con la formulación de los índices de contaminación estriba en el cálculo de matrices de correlación entre todas las variables, hecho que permite identificar las asociaciones entre ellas (Margalef, 1983; Ramírez, 1988; George *et al.*, 1991).

De los estudios y análisis referidos, se tomó entonces la información pertinente a dichas matrices en las cuales se identifican además, las correlaciones significativas entre variables a un nivel de confiabilidad del 95%. A partir de estas correlaciones, se definieron grupos de variables fisicoquímicas que denotan una misma condición ambiental y se seleccionaron algunas de las variables más representativas o de fácil determinación, para ser involucradas en los índices de contaminación (ICO) (Ramírez et al, 1997).

El procedimiento seguido en la formulación de los ICO fue similar al empleado en el desarrollo de los ICA:

- Selección de variables físicas y químicas.
- Asignación de valores de calidad (0 a 1) a diferentes concentraciones de las variables, o establecimiento de una relación (ecuación) entre índice -variable, con base en legislaciones o parámetros definidos por diversos autores para diferentes usos del agua (Ramírez et al, 1997)

Posteriormente Ramirez et al llevaron a cabo un análisis de regresión por mínimos cuadrados mediante modelos lineal, exponencial, logarítmico, parabólico, de potencia y recíproco, seleccionando en cada caso aquella relación estadísticamente válida (95% de confiabilidad), que además de exhibir alto coeficiente de determinación (R^2), se ajustase a una relación esperada. Para dicho modelo se estableció la ecuación de regresión, es decir, entre índice y concentración de la variable.

Finalmente aquellas variables que denotaron un mismo criterio de contaminación, fueron agrupadas en un único índice de contaminación. Si bien es posible construir cada índice con numerosas variables, los mismos por simplicidad y economía, deben recoger tan sólo unas pocas, sin ser conducentes a pérdida de información. (Ramirez et al, 1997)

En este estudio se van a calcular los índices de contaminación propuestos por Ramirez et al mostrados en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Índices de contaminación propuestos por Ramirez et al y sus parámetros implicados.

ICO	Parámetros a considerar
ICOMO (Materia Orgánica)	Demanda Biológica de Oxígeno (g/m ³)
	Coliformes totales (NMP/100ml)
	Saturación de oxígeno (mg/L)
ICOSUS (Sólidos en suspensión)	Sólidos en suspensión (g/m ³)
ICOpH	pH
ICOMIN (Mineralización)	Dureza (g/m ³)
	Alcalinidad (g/m ³)
	Conductividad (\square S/cm)

Los datos obtenidos de los puntos de control para cada uno de los parámetros a considerar, son introducidos en diagramas de dispersión asignando valores de calidad (0 a 1) a diferentes concentraciones de las variables. Posteriormente se calculan los mínimos cuadrados mediante el uso de diferentes modelos de línea de tendencia, seleccionando aquellos con un mínimo del 95% de confianza (Figuras 2.2, 2.3, 2.4). La ecuación resultante o ecuación de regresión, es la utilizada para calcular el valor del índice del parámetro analizado. En el caso del ICOMO y del ICOMIN, al poner en relación varios parámetros, la expresión final vendrá determinada por la media aritmética de los valores obtenidos de los índices de cada parámetro.

En la tabla 2.5 se muestran los ajustes propuestos mediante ecuaciones de regresión.

El resultado final, se encontrará escalado de 0 (Ninguna contaminación) a 1 (Muy alta contaminación) y se le asignará un color de leyenda en base a su valor de índice (Tabla 2.6)

Tabla 2.5 Fórmulas empleadas en el cálculo de los ICOs.

Índices de contaminación	Expresión	Condiciones
Materia Orgánica (ICOMO)	$\frac{1}{3}(\text{IDBO} + \text{Icoliformes totales} + \text{IOxígeno})$ $\text{IDBO} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10}[\text{DBO}]$ $\text{ICT} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10}[\text{CT}]$ $\text{IOx} = 1 - 0,015\% \text{Ox}$	DBO < 2 ; IDBO = 0
		DBO > 30 ; IDBO = 1
		CT < 500 ; ICT = 0 CT > 20000 ; ICT = 1
Sólidos en suspensión (ICOSUS)	$-0,02 + 0,003 \text{SST}$	SS < 10 ; ISS = 0 SS > 340 ; ISS = 1
ICOpH	$\frac{e^{-31,08 + 3,45 \text{pH}}}{1 + e^{-31,08 + 3,45 \text{pH}}}$	
Mineralización (ICOMIN)	$\frac{1}{3}(\text{IConductividad} + \text{IDureza} + \text{IAlcalinidad})$ $\text{LogICond} = -3,26 + 1,34 \text{Log}[\text{Conductividad}]$ $\text{LogIDureza} = -9,09 + 4,40 \text{Log}[\text{Dureza}]$ $\text{IAlcalinidad} = -0,25 + 0,005 \text{Alcalinidad}$	Cond > 270 ; ICond = 1
		Dureza < 30 ; IDureza = 0 Dureza > 110 ; IDureza = 1
		Alcal < 50 ; IAlcal = 0 Alcal > 250 ; IAlcal = 1

Tabla 2.6. Calidad del agua en función de los valores de los ICOs.

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN	LEYENDA
> 0,8 - 1	Muy Alta (MA)	
> 0,6 - 0,8	Alta (A)	
> 0,4 - 0,6	Media (M)	
> 0,2 - 0,4	Baja (B)	
0 - 0,2	Ninguna (N)	

A continuación, a modo de ejemplo, se recogen las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 en las que se representan los diagramas de dispersión ajustados regresivamente mediante mínimos cuadrados, para el cálculo del Índice de Contaminación de Materia Orgánica (ICOMO).

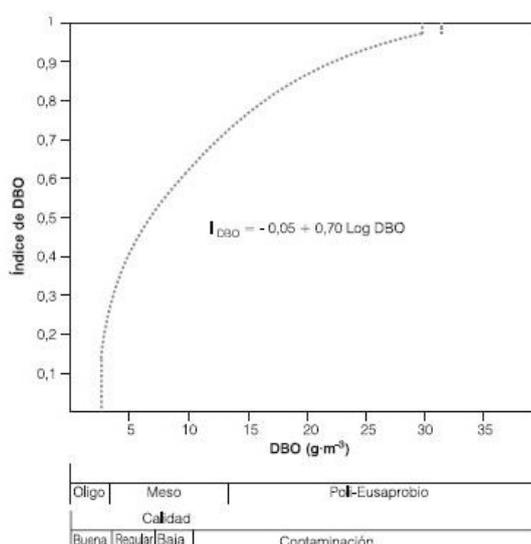


Figura 2.2 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de DBO

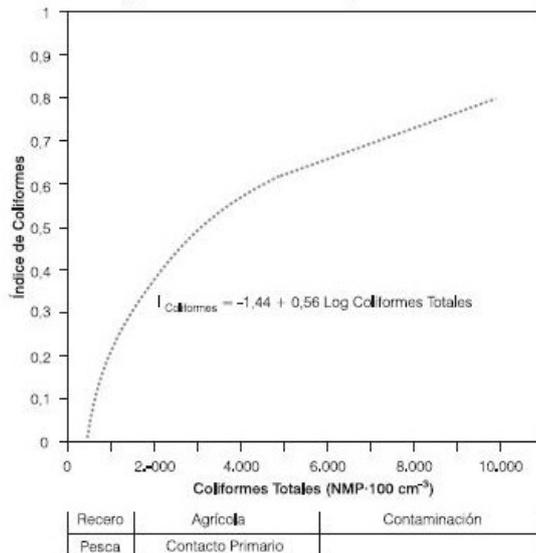


Figura 2.3 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de Coliformes.

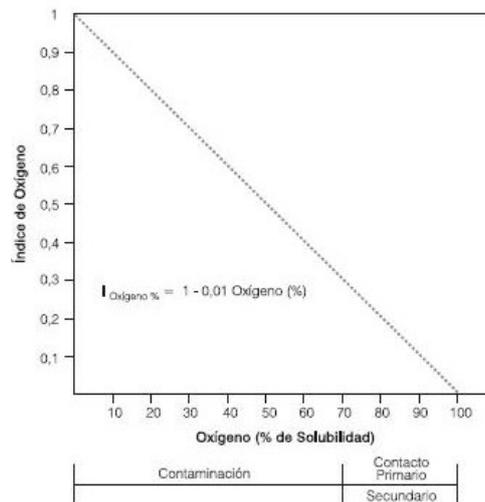


Figura 2.4 Curva de estandarización asociada a la variable Índice de Oxígeno

Se introducen los valores registrados en las diferentes mediciones en las tres fórmulas de estandarización obtenidas.

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10} [DBO]$$

$$I_{CT} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10} [CT]$$

$$I_{Ox} = 1 - 0,015 \% O_x$$

El valor final viene determinado por la media aritmética de los tres valores resultantes obtenidos de las fórmulas anteriormente descritas en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.

$$\frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{coliformes\ totales} + I_{Oxígeno})$$

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación se describe el procedimiento experimental llevado a cabo para determinar la calidad de las aguas superficiales pertenecientes a Zonas Protegidas de la cuenca del Ebro.

3.1. Puntos de control en la cuenca del Ebro

Los puntos de control utilizados para el desarrollo del presente estudio pertenecen a la red de control de Zonas Protegidas de la CHEBRO. La red de control de Zonas protegidas se divide en control de DMA Prepotables y control de Zonas Vulnerables.

La situación de los puntos de control se muestra en la figura III.1 del anexo III. En la tabla III.2 del anexo IV se especifica la descripción de la masa de agua, categoría y subprograma.

Puntos de control en Zonas Protegidas.

El artículo 6 de la DMA sobre el registro de zonas protegidas dicta que los estados miembros velarán por que se establezca uno o más registros de todas las zonas protegidas incluidas en cada demarcación hidrográfica que hayan sido declaradas objeto de una protección especial y velarán por que el registro se complete dentro del plazo de cuatro años a partir de la entrada en vigor de la DMA.

El registro de zonas protegidas se revisa y actualiza regular y específicamente junto con la actualización del plan hidrológico correspondiente. El capítulo V de la Memoria del Plan Hidrológico del Ebro (PHE), "Identificación y mapas de las zonas protegidas", recoge una explicación de cada una de las zonas protegidas; el Anexo 2 de la citada Memoria recoge las tablas detalladas del registro de zonas protegidas. (Confederación hidrográfica del Ebro, 2011)

En la tabla 3.1 se detalla la distribución de los puntos de control de aguas superficiales de las Zonas Protegidas en la cuenca del Ebro. El número total de puntos de muestreo evaluados en el presente estudio es 152.

Tabla 3.1 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales de las Zonas Protegidas.

Comunidad Autónoma	Provincia	Nº de puntos de muestreo
Aragón	Huesca	15
	Teruel	11
	Zaragoza	32
Cantabria	Cantabria	4
Castilla-León	Burgos	11
	Soria	1
Cataluña	Girona	2
	Lleida	22
	Tarragona	10
La Rioja	La Rioja	15
Navarra	Navarra	18
País Vasco	Álava	11
TOTAL		152

Los programas de seguimiento de los puntos de control pertenecientes a la red de control de masas superficiales en zonas protegidas de la CHEBRO están divididos en Control de DMA prepotables (abastecimiento) y Control de Zonas vulnerables.

Puntos de control DMA prepotables:

El artículo 7 de la DMA establece que los estados miembros efectuarán un seguimiento de las masas de agua destinadas al abastecimiento de poblaciones o conjuntos de poblaciones superiores a 500 habitantes y que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios y se realizará un control adicional de las zonas protegidas

La aplicación de este criterio ha supuesto en el año 2016 el seguimiento de la calidad en 125 puntos de muestreo.

Las tablas 3.2 y 3.4 presentan un resumen de la distribución de los puntos de control según su ubicación geográfica y el tipo de abastecimiento que representan. La tabla 3.2 recoge la distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por provincias y la tabla 3.4 recoge la distribución de los puntos de control de aguas superficiales en zonas vulnerables por provincias.

La tabla 3.3 resume la distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por población abastecida.

En la figura III.1 disponible en el anexo III se representa el diagnóstico de calidad de los puntos de control muestreados en el año 2016.

Tabla 3.2 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por provincias.

Comunidad Autónoma	Provincia	Nº de puntos de muestreo
Aragón	Huesca	13
	Teruel	8
	Zaragoza	22
Cantabria	Cantabria	4
Castilla-León	Burgos	11
	Soria	1
Cataluña	Girona	2
	Lleida	19
	Tarragona	10
La Rioja	La Rioja	14
Navarra	Navarra	12
País Vasco	Álava	9
TOTAL		125

Tabla 3.3 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales destinadas al consumo humano por población abastecida

Población abastecida (nº habitantes)	Nº de puntos de muestreo
500 – 10.000	86
10.000 – 30.000	18
> 30.0000	21

Puntos de control de Zonas Vulnerables:

Tabla 3.4 Distribución de los puntos de control de aguas superficiales en zonas vulnerables por provincias

Comunidad Autónoma	Provincia	Nº de puntos de muestreo
Aragón	Huesca	2
	Teruel	3
	Zaragoza	10
Cantabria	Cantabria	0
Castilla-León	Burgos	0
	Soria	0
Cataluña	Girona	0
	Lleida	3
	Tarragona	0
La Rioja	La Rioja	1
Navarra	Navarra	6
País Vasco	Álava	2
TOTAL		27

3.2. Parámetros de control sistemático y frecuencia de análisis

La frecuencia de análisis y los parámetros de control sistemático varían en función del tipo de control realizado. A continuación se exponen las frecuencias y parámetros de los dos tipos de controles realizados en Zonas Protegidas.

Control DMA prepotables:

En el artículo 8 del Real Decreto 817/2015 se especifica que las masas de agua destinadas a la producción de agua para consumo humano, y que proporcionen un promedio de más de 100 metros cúbicos diarios, se someterán a controles adicionales de las sustancias prioritarias y los contaminantes vertidos en cantidades significativas, prestando especial atención a las sustancias que afecten al estado y que se regulan en el anexo I del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad de agua de consumo humano.

En 2009 la CHEBRO procedió a la adaptación de los parámetros controlados y frecuencias, incluyendo algunas de las sustancias prioritarias antes no controladas y fijando la frecuencia mínima de muestreo en trimestral (CEMAS 2014/2015. CHEBRO).

Los parámetros analizados se dividen en tres grupos, detallados en la tabla 3.5 según las frecuencias de determinación aplicadas.

Las frecuencias de muestreo previstas se muestran en la tabla 3.6. Tal y como se observa, a excepción del Grupo III, conforme mayor es la población abastecida, mayor es el número anual de determinaciones de los distintos grupos de parámetros.

Tabla 3.5 Agrupaciones de parámetros para el control DMA prepotables según frecuencias de determinación) **Fuente:** CEMAS 2014/15. CHEBRO.

Grupo I	Grupo II	Grupo III	
pH	Sodio	Cianuros	DDT's
Temperatura ambiente	Sulfatos	Fluoruros	Hexaclorociclohexano
Temperatura del agua	Coliformes totales 37°C	Hidrocarburos disueltos o emulsionados	Aldrín
Conductividad	Escherichia Coli	Estreptococos fecales	Isodrín
Sólidos en suspensión	Cobre	Salmonellas	Endrín
DQO	Hierro disuelto	Arsénico	Dieldrín
Aspecto	Manganeso	Bario	Alacloro
Oxígeno disuelto	Zinc	Boro	Isoproturón
DBO5		Cadmio	Trifluralina
Amonio total		Cromo total	Atrazina
Cloruros		Mercurio	Clorfenvinfós
Nitratos		Níquel	Clorpirifós
fosfatos		Plomo	Simazina
Antimonio			Endosulfán
Selenio			Antraceno
Hexaclorobenceno			Hidrocarburos aromáticos policíclicos
			Plaguicidas totales

Tabla 3.6 Frecuencias de muestreo aplicadas en el control DMA prepotables.

Fuente: CEMAS 2014/15. CHEBRO.

Población abastecida (Nº habitantes)	Número anual de determinaciones de los distintos grupos de parámetros		
	Grupo I	Grupo II	Grupo III
500 - 10.000	4	2	1
10.000 – 30.000	8	4	1
>30.000	12	4	1

Zonas sensibles y vulnerables

El anexo 4 de la DMA incluye dentro de las zonas protegidas las zonas sensibles en lo que se refiere a nutrientes, incluidas las zonas declaradas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE (relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrario) y las zonas declaradas sensibles en el marco de la Directiva 91/271/CEE (sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas).

En ambas directivas se hace especial hincapié en la prevención de la contaminación por nutrientes que puedan provocar problemas de eutrofización en las aguas.

Para el control de estas zonas protegidas, se realizan controles específicos para el seguimiento de la evolución de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo, en las aguas superficiales.

Los controles específicos de nutrientes se han dividido en dos programas de muestreo distintos:

- **Zonas sensibles.** Se realiza el seguimiento de los aportes de nutrientes a las zonas declaradas como sensibles desde los principales tributarios. Además de este control realizado en ríos, se realiza un control específico de los embalses.
- **Zonas vulnerables.** Se realiza el seguimiento de los nutrientes en los cauces que drenan las zonas declaradas como vulnerables.

La tabla 3.7 muestra los parámetros determinados en los puntos de control de nutrientes

Tabla 3.7 Parámetros determinados en los puntos de control de nutrientes

Parámetros generales	Parámetros específicos
Temperatura del aire	Amonio total
Temperatura del agua	Nitritos
pH	Nitrógeno Kjeldahl
Conductividad a 20°C	Nitratos
Oxígeno disuelto	Fosfatos
Sólidos en suspensión	Fósforo total
Demanda química de oxígeno	

El Real Decreto 817/2015, recoge en el Anexo II los umbrales para los nitratos y los fosfatos que hay que utilizar en el diagnóstico del Estado Ecológico, fijando los límites que hay que considerar para el cambio de estado muy bueno a bueno y de estado bueno a moderado.

El resto de los parámetros analizados en los planes de control de nutrientes (amonio total, nitritos y nitrógeno Kjeldahl), son considerados más como indicadores de contaminación orgánica reciente que como indicadores de la concentración de nutrientes.

3.3. Determinación de la calidad del agua mediante diferentes metodologías

En este apartado se recogen los datos necesarios para llevar a cabo el diagnóstico de calidad utilizando las diferentes metodologías detalladas en el capítulo 2 de la presente memoria y las consideraciones a tener en cuenta. Se han tomado en cuenta las mismas consideraciones que Lopez (2013) para la determinación de la calidad, mediante diferentes metodologías, utilizado en tu trabajo se basa en el trabajo de investigación realizado por López (2013) en el Grupo de Investigación de Calidad y Tratamiento de Aguas de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

La tabla 3.8 muestra el criterio seguido con los resultados microbiológicos (Harwood et al,2005; Viau et al, 2011).

Tabla 3.8 : Criterio para los resultados microbiológicos

UFC/100ml	Cálculo base logarítmica
0	LN (1)
< L.D.	LN (L.D.)

- Cuando un dato es menor que límite de detección (L.D.) se considera como valor el L.D.
- Se calculan el índice de calidad y los índices de contaminación en cada punto de muestreo y para cada fecha y a continuación se determina el promedio para cada punto (Fernández et al, 2003; Fernández, 2005).

- Estado Ecológico, Estado Químico y Estado Final:

Se sigue el procedimiento descrito en el apartado 2.1.2. La calidad de los puntos de muestreo se determina a partir de los datos presentes en la base de datos de aguas superficiales disponible en la página web de la CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2016).

- WQI

Se sigue la metodología presentada en el apartado 2.2.2 con algunas modificaciones o adaptaciones.

En concreto:

- Los Coliformes fecales se sustituyen por datos de Coliformes totales. Los Coliformes totales están compuestos en su mayoría por Coliformes fecales y se dispone de registros más detallados de este último parámetro.
- Se emplean los valores de sólidos en suspensión para el cálculo del índice parcial QSST.
- La turbidez y la temperatura del agua no se consideran en este trabajo por no disponer de datos.

Se recalculan los factores de ponderación tal y como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Factores recalculados con los parámetros de este estudio.

PARÁMETRO	FACTOR W_i recalculado
%Saturación oxígeno	0,23
Coliformes fecales	0,21
pH	0,16
Demanda biológica de oxígeno	0,13
Nitratos	0,14
Fosfatos	0,14
Sólidos totales	0,11

- ICOs

Se siguen los pasos y se aplican las expresiones detalladas en el apartado 2.2.3 con algunas modificaciones.

Concretamente:

- En el índice ICOMO la metodología normalizada determina los coliformes totales expresando el resultado en Número Más Probable (NMP/100ml). La metodología seguida en el presente estudio muestra los resultados en Unidades Formadoras de Colonias (UFC/100ml).

4. DIAGNÓSTICO DE CALIDAD

4.1 - Calidad del agua según los criterios establecidos en la legislación vigente

4.1.1 - Estado Químico, Estado Ecológico y Estado Final

La tabla V.2 del anexo V recoge los resultados del diagnóstico de las masas de agua analizadas determinando el EQ, EE y EF. La metodología empleada se detalla en el capítulo 2.

Estado Químico

La Tabla 4.1 Muestra el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el Estado Químico. Se observa que existe un claro predominio del EQ Bueno con 124 puntos registrados.

La figura 4.1 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas, siendo el EQ Bueno en el 83% de los puntos de la red de control.

Tabla 4.1 Estado Químico determinado en los puntos de muestreo.

EQ	Cuenta EQ
Bueno	124
No Bueno	4
Sin diagnosticar	22

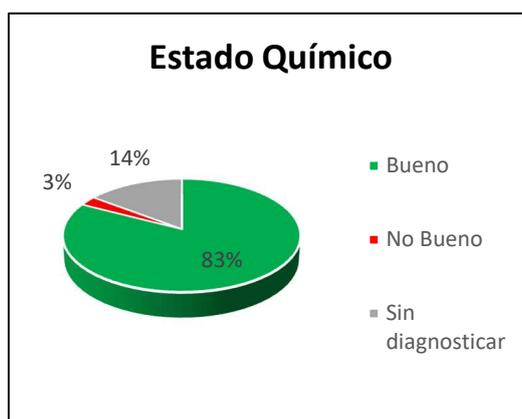


Figura 4.1 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EQ.

Los 4 puntos de control calificados como No Bueno están detallados en la Tabla 4.2. En esta tabla, se detallan los parámetros que superan los límites marcados por ley en el diagnóstico del EQ.

Tabla 4.2 Puntos en los que el EQ resulta No bueno y detalles del incumplimiento.

Punto de muestreo	Denominación	NCA -MA	NCA-CMA	NCA-BIOTA	Detalles	
0087-FQ	Jalón / Grisén	X			Naftaleno 4,625 mg/L	Benzo(ghi)perileno 0,005 mg/L
0162-FQ	Ebro / Pignatelli	X			Naftaleno 5 mg/L	Benzo(ghi)perileno 0,005 mg/L
0179-FQ	Zadorra / Vitoria - Trespuentes	X			Naftaleno 4,25 mg/L	Benzo(ghi)perileno 0,005 mg/L
0211-FQ	Ebro / Presa Pina	X			Naftaleno 4,625 mg/L	Benzo(ghi)perileno 0,005 mg/L

Tal y como se ve en la tabla, la principal causa de que el estado sea No Bueno es debido a la presencia de compuestos orgánicos, en concreto Naftaleno y Benzo(ghi)pirelino, por encima de los límites permitidos. El límite marcado por el RD 817/2105 en las NCA es 2,4 mg/L para el Naftaleno y 0,002 mg/L para el Benzo(ghi)pirelino. Cabe destacar que no ha habido incumplimiento en CMA y Biota, solo en MA.

El Naftaleno se puede incorporar al medio ambiente a través de vertidos industriales, residuos madereros y combustibles fósiles. Sin duda la mayor fuente de contaminación por naftaleno se produce por la quema de madera y combustibles fósiles. El naftaleno es una sustancia muy tóxica para los organismos acuáticos. Cuando es vertido en un área local, se degrada fácilmente con la luz solar y con determinadas bacterias. El naftaleno se adhiere fuertemente a las partículas de suelo o sedimento aunque no es muy persistente en el ambiente y tampoco se acumula en los tejidos de los animales. (PRTR)

El Benzo(ghi)perileno es un es un hidrocarburo aromático policíclico (HAP) que aparece de manera natural en el medio ambiente mediante procesos de combustión incompletos de materia orgánica. El benzo(g,h,i)perileno puede ser peligroso para el medio ambiente debido a posibles problemas de bioacumulación en animales y vegetales. (PRTR)

Los puntos afectados por Naftaleno y Benzo(ghi)perileno se encuentran dispersos por toda la cuenca del Ebro.

Estado Ecológico:

La Tabla 4.3 Muestra el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el EE. Se observa que existe un predominio del EE bueno/moderado.

La figura 4.2 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas en el Estado Ecológico siendo el EE Bueno/Moderado en el 83% de los puntos de la red de control.

Tabla 4.3 Estado Ecológico determinado en los puntos de muestreo.

EE	Cuenta EE
Buena/Moderado	81
Deficiente/Malo	7
Muy Buena/Buena	36
Moderado/Deficiente	7
Sin diagnosticar	19

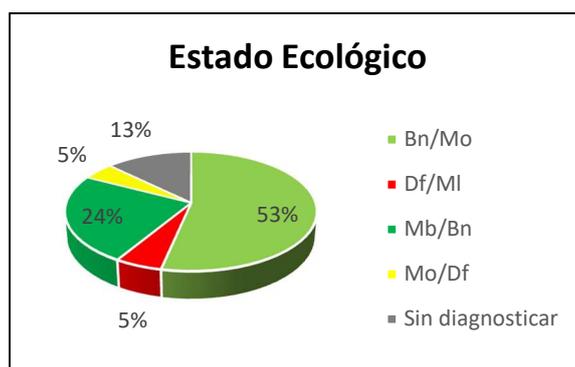


Figura 4.2 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EE.

Los 14 puntos de control calificados como Moderado/deficiente (Md/Df) y Deficiente/malo (Df/MI) están detallados en la Tabla 4.4 En esta tabla, se detallan los parámetros que superan los límites marcados por la ley en el diagnóstico del Estado Ecológico

Tabla 4.4 Puntos en los que el EE resulta Moderado/Deficiente y Deficiente/Malo.

Punto de muestreo	Denominación	Estado	Parámetro/s	Valor
0042-FQ	Jiloca / Calamocha	Md/Df	Nitratos	26,2 mg/L
0060-FQ	Arba de Luesia / Tauste	Md/Df	Nitratos	33,4 mg/L
0179-FQ	Zadorra / Vitoria - Trespuentes	Md/Df	Oxígeno disuelto (%sat.)	56,8 %
		Md/Df	Fosfatos	0,61 mg/L
0231-FQ	Barranco Valcuerna / Candasnos	Df/MI	Nitratos	103 mg/L
0565-FQ	Huerva / Fuente de la Junquera	Df/MI	Amonio Total	1,01 mg/L
		Md/Df	Fosfatos	0,7 mg/L
1119-FQ	Corp / Vilanova de la Barca	Md/Df	Nitratos	39,8 mg/L
1219-FQ	Huerva / Cerveruela	Md/Df	Nitratos	36,5 mg/L
1288-FQ	Flumen / Barbués	Df/MI	Amonio total	1,1 mg/L
1304-FQ	Sio / Balaguer E.A. 182	Md/Df	Fosfatos	0,8 mg/L
		Md/Df	Nitratos	26,2 mg/L
1308-FQ	Zidacos / Olite	Md/Df	Nitratos	30,7 mg/L
2053-FQ	Robo / Obanos	Df/MI	Nitratos	59,6 mg/L
3015-FQ	Zidacos / Murillo el Cuende	Df/MI	Nitratos	53,1 mg/L
3020-FQ	Tastavins - Valderrobres	Df/MI	Nitratos	54,7 mg/L
3022-FQ	Zamaca / Ollauri	Df/MI	Nitratos	126 mg/L

La mayoría de los casos en los que se diagnostica un Estado Ecológico MD/DF y DF/ML es debido a la presencia de nitratos. Los nitratos, al ser compuestos muy solubles, se encuentran entre las sustancias que más rápido se incorporan a los cursos de aguas naturales.

En la figura 4.3 se representan las aguas superficiales y subterráneas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro durante los años 2012/2015.

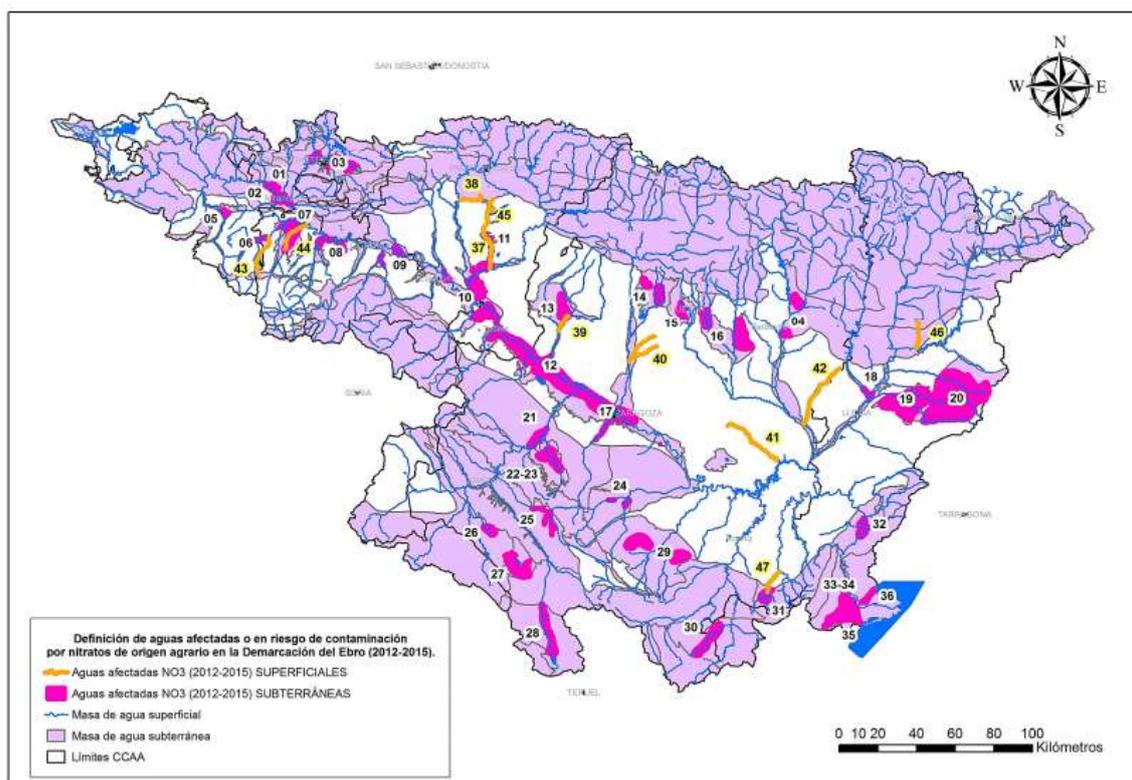


Figura 4.3 Aguas superficiales y subterráneas afectadas o en riesgo de contaminación por nitratos de origen agrario en la Demarcación del Ebro durante los años 2012/2015.

En relación a las sustancias determinadas en una concentración que conlleva a un diagnóstico de la calidad moderada o deficiente, se puede decir que en cuanto al nitrato su origen se puede deber a la agricultura intensiva. Los nitratos pueden producir problemas de eutrofización en los cauces de los ríos por lo que se ve necesaria la implantación de medidas correctoras en aquellos puntos cuyas concentraciones de nitratos superen los límites establecidos por ley.

Por otro lado, la determinación de Fosfato en concentraciones que incumplen las normas de calidad puede estar relacionada con la contaminación producida por la agricultura. Los fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, pueden contener fósforo en sus diferentes estados químicos. El aumento de la concentración de fosfatos en las aguas superficiales, provoca el desarrollo de organismos consumidores del mismo. Esto

a su vez provoca un descenso en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, pudiendo desencadenar episodios de anoxia. Otras fuentes de emisión de fosfatos son las excreciones humanas, los detergentes y los productos de limpieza domésticos, como los detergentes.

Además, se detecta Amonio cuyos orígenes podrían ser vertidos industriales o vertidos de las redes de saneamiento, que al no someterse a los tratamientos necesarios para su reducción o eliminación pueden alcanzar el cauce receptor y en consecuencia detectarse aguas abajo.

El último de parámetros que incumple los límites establecidos por el RD 817/2015 es el Porcentaje de Saturación de Oxígeno (% sat.). Tanto los niveles altos de oxigenación como los bajos, son perjudiciales para el Estado Ecológico de los cauces fluviales. Es posible que la contaminación por déficit de saturación de oxígeno se deba a procesos de oxidación de sustancias químicas u orgánicas presentes en el agua o por efecto de la eutrofización. Debido a los problemas graves de anoxia que se pueden producir en los cauces fluviales, es necesario implementar medidas correctoras por parte de la CHEBRO.

Estado de las masas de agua superficiales:

La Tabla 4.5 muestra el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el Estado de las masas de agua superficiales. Se observa que existe un predominio del EF Bueno.

La figura 4.4 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas en el Estado Ecológico siendo el EF Bueno en el 87% de los puntos. Los 18 puntos de control calificados como Inferiores a bueno están recogidos en las tablas 4.2 y 4.4.

Tabla 4.5 Estado de las masas de agua superficiales determinado en los puntos de muestreo.

EF	Cuenta EF
Bueno	130
Inferior a bueno	18
Sin diagnosticar	2



Figura 4.4 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del EF.

4.2 - Calidad del agua aplicando el WQI

La tabla IV.2 del anexo IV muestra los resultados del diagnóstico de las masas de agua estudiadas de acuerdo con la metodología detallada en el apartado 2.2.2 para el cálculo del WQI. Se aplican las ecuaciones presentadas en la tabla 2.2.

La figura 4.5 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de un histograma que los clasifica en función del valor del índice determinado. Se aprecia en el histograma que la mayoría de los puntos muestran una calidad buena.

Cabe mencionar que el Porcentaje de Saturación de Oxígeno es el parámetro que más peso tiene en el cálculo del índice y es el que mejores resultados ha obtenido en los puntos muestreados. El parámetro que ha causado que muchos de los puntos muestreados no hayan alcanzado el nivel de WQI Bueno es Coliformes totales. Se han registrado concentraciones muy altas en las mediciones llevadas a cabo por la CHE y esto puede ser debido a la materia fecal presente en las aguas. Es posible que el origen de la elevada concentración de coliformes en las aguas sea debido a la presencia vertidos de origen doméstico, industrial o ganadero. Los valores registrados en los puntos de muestreo han presentado frecuentemente concentraciones excesivamente elevadas de Nitratos. No es el caso de los Fosfatos y pH cuyos valores registrados han sido más moderados.

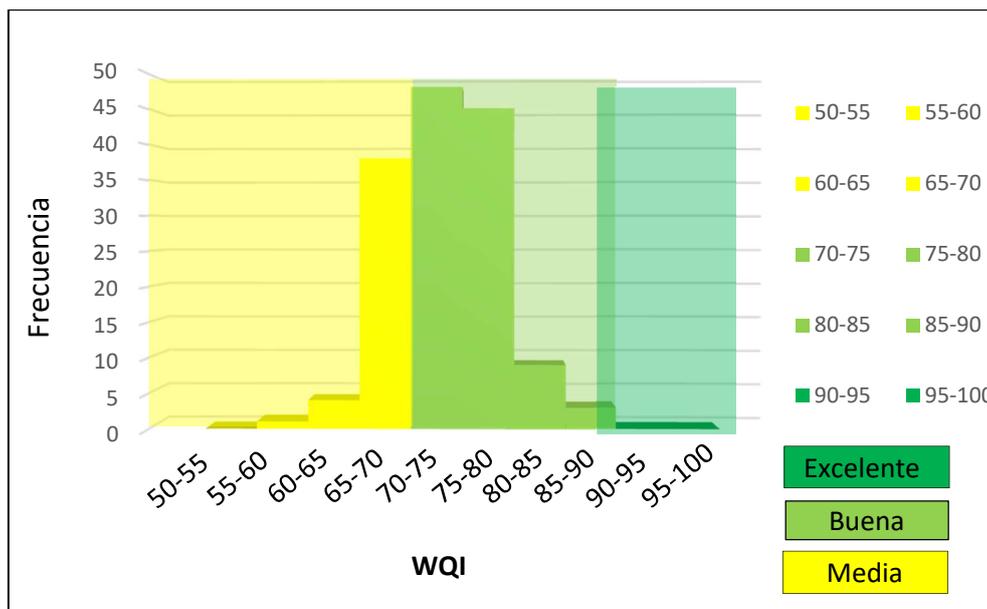


Figura 4.5 Histograma de los resultados de WQI en los puntos de muestreo.

La tabla 4.6 recoge el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el WQI. Se observa que existe un predominio del WQI Bueno.

La figura 4.6 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas en el WQI siendo el WQI Bueno en el 70% de los puntos de la red de control.

Tabla 4.6 WQI determinado en los puntos de muestreo.

WQI	Cuenta WQI
Buena	105
Media	43
Sin diagnosticar	2

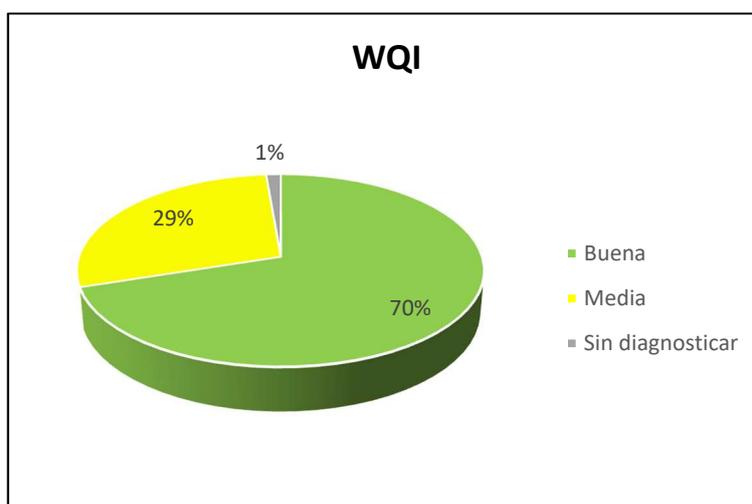


Figura 4.6 Diagnóstico de aguas siguiendo la metodología del WQI.

4.3 - Calidad del agua aplicando los ICOs

La tabla IV del anexo IV muestra los resultados del diagnóstico de las masas de agua estudiadas de acuerdo con la metodología detallada en el apartado 2. Para el cálculo de los diferentes ICOs, se aplican las ecuaciones presentadas en la tabla 2.5.

La figura 4.7 muestra un resumen de los resultados obtenidos a través de un histograma que los clasifica en función del valor del índice determinado. Tal y como se observa en el histograma, el ICOSUS y el ICOpH muestran un grado de contaminación nulo para la mayoría de sus puntos de muestreo. El ICOMO posee un resaltante porcentaje de puntos cuyo grado de contaminación es bajo. El ICOMIN muestra resultados desfavorables con grados de contaminación Altos y Muy Altos.

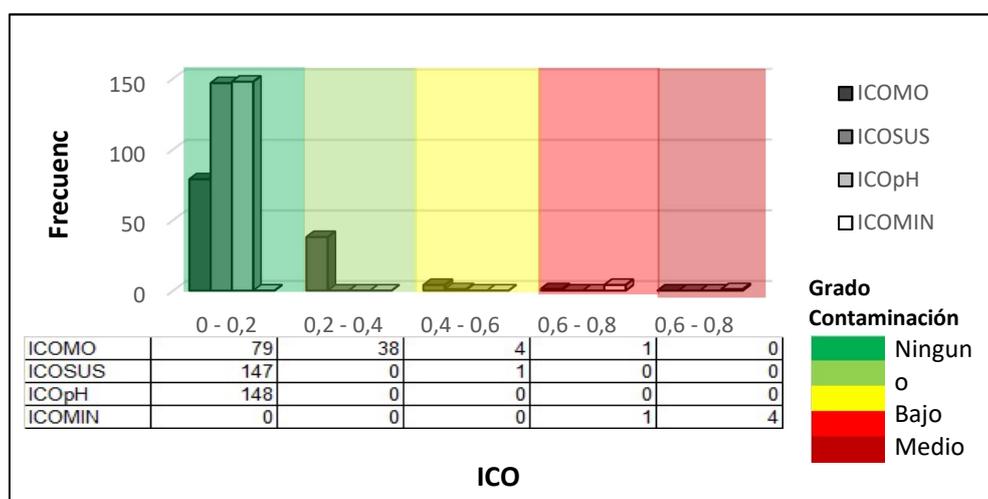


Figura 4.7 Histograma de los resultados de los ICOs en los puntos de muestreo.

ICOMO

La tabla 4.7 recoge el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el ICOMO.

La figura 4.8 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas en el ICOMO siendo el grado de contaminación nulo en el 52% de los puntos de la red de control.

Tabla 4.7 Resultado del diagnóstico de puntos siguiendo el ICOMO

ICOMO	Cuenta ICOMO
Alto	1
Medio	4
Bajo	38
Ninguno	79
Sin diagnosticar	28

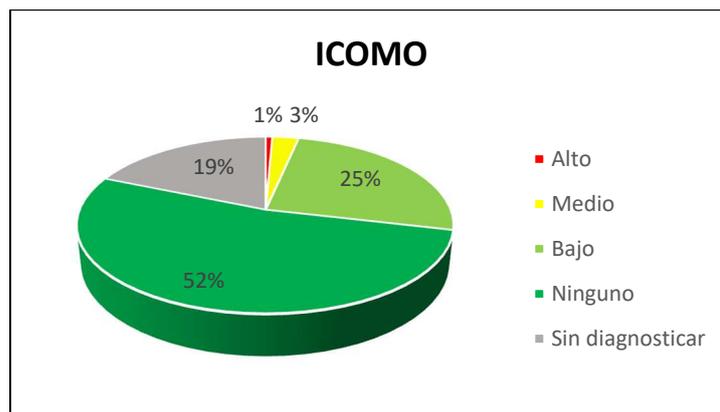


Figura 4.8 ICOMO calculados en los puntos de la red de abastecimiento

La tabla 4.8 recoge los puntos de muestreo en los que el ICOMO posee un grado de contaminación alto o muy alto. Existe un único punto de control que sobrepasa los límites establecidos por la legislación, el Embalse de La Loteta (3018-FQ). Se observa que el parámetro que está provocando que el grado de contaminación del ICOMO sea Alto, es el Recuento de Coliformes totales. La principal fuente de contaminación por Coliformes es la materia fecal. Es posible que el origen de la contaminación sea de origen urbano o industrial debido a que las instalaciones destinadas al tratamiento de aguas residuales urbanas no están diseñadas para la reducción de contaminación microbiológica, ya que la legislación vigente (Directiva 91/271/CEE) no lo requiere.

Punto muestreo	Denominación	Grado de contaminación	Parámetro/s	Valor
3018-FQ	Embalse de La Loteta	Alto	Recuento de Coliformes totales	2247,6 ufc/100 mL

Tabla 4.8 Puntos en los que el posee un grado de contaminación Alto o Muy Alto

ICOMIN

La tabla 4.9 recoge el número de puntos de muestreo evaluados según su calidad determinada mediante el ICOMIN. Destaca el elevado número de puntos de muestreo sin diagnosticar, en concreto 145 puntos.

La figura 4.9 muestra el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas en el ICOMIN. Se observan cuatro puntos de control cuyo grado de contaminación es Alto y un punto de control cuyo grado de contaminación es Muy Alto.

Tabla 4.9 Resultado del diagnóstico de puntos siguiendo el ICOMIN

ICOMIN	Cuenta de ICOMIN
Muy Alto	1
Alto	4
Sin diagnosticar	145

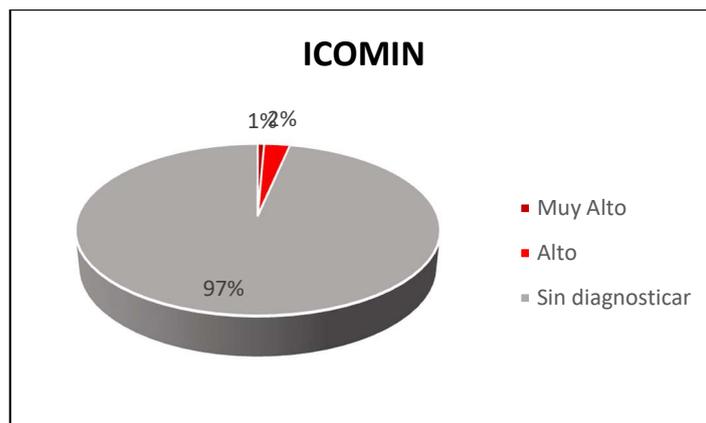


Figura 4.9 ICOMIN calculados en los puntos de la red de abastecimiento

La tabla 4.10 recoge los puntos de muestreo en los que el ICOMIN posee un grado de contaminación alto o muy alto. Se observa que el principal parámetro que está provocando que el grado de contaminación de algunos puntos muestreados sea Alto o Muy Alto, es la Conductividad a 20°C. Se ha registrado un punto de control cuyo grado de contaminación es muy alto y además incumple los límites establecidos por ley en dos parámetros, Alcalinidad y Conductividad a 20°C. Es importante destacar que durante la determinación del Estado Ecológico se pudo comprobar que, a pesar de no ser posible diagnosticar el 97% de los puntos de muestreo, los valores de conductividad obtenidos de los puntos sobrepasaban frecuentemente los límites establecidos por el RD 817/2015.

Estas elevadas concentraciones pueden estar relacionadas con problemas por vertidos no autorizados, problemas en estaciones depuradoras de aguas residuales, pero de forma más generalizada, por aumentos bruscos de caudal o por episodios de lluvia. (CHEBRO 2015).

Punto muestreo	Denominación	Grado de contaminación	Parámetro/s	Valor
0231-FQ	Barranco Valcuerna / Candanos (EA 231)	Muy Alto	Conductividad a 20°C	5927,7 µS/cm
			Alcalinidad	288,08 mg/L
0414-FQ	Canal Aragón y Cataluña / San José	Alto	Conductividad a 20°C	362,1 µS/cm
0421-FQ	Canal de Monegros / Almudevar	Alto	Conductividad a 20°C	353,9 µS/cm
0441-FQ	Cinca / Embalse del Grado	Alto	Conductividad a 20°C	269,33 µS/cm
3018-FQ	Embalse de La Loteta	Alto	Conductividad a 20°C	2247,6 µS/cm

Tabla 4.10 Puntos en los que el ICOMIN posee un grado de contaminación Alto o Muy Alto

4.4 - Comparativa de las metodologías de diagnóstico

A continuación se comparan los diagnósticos obtenidos de la calidad de las masas de agua estudiadas mediante las diferentes metodologías propuestas anteriormente. En concreto el diagnóstico mediante la comparativa del estado de las aguas superficiales definido en el RD 817/2015 con el WQI e ICOs (ICOMO e ICOMIN)

La figura 4.10 muestra la comparación los resultados de diagnóstico aplicando la metodología de cálculo del WQI y del EF. Tal y como se observa en la figura, no hay relación entre los resultados de ambas metodologías. Los puntos que representan el EF Inferior a Bueno están situados en franjas correspondientes a una WQI Buena.



Figura 4.10 Representación del WQI para cada punto de muestreo. Comparación con el EF.

En la figura 4.11 se muestran los resultados de la comparación entre el diagnóstico obtenido siguiendo la metodología del ICOMO y EF. El ICOMO se ha calculado para cada uno de los puntos de muestreo siguiendo la metodología de Ramirez et al. Esta metodología clasifica el grado de contaminación en una escala del 0 al 1, es decir en %. Sin embargo para poder representar los resultados de una manera visual y clara, se han extrapolado los valores obtenidos del ICOMO a % y se ha representado como 1-ICOMO (%). Se aprecia en la figura que, a excepción de dos puntos, el resto se sitúan en franjas cuyo grado de contaminación corresponde a su valor ICOMO.

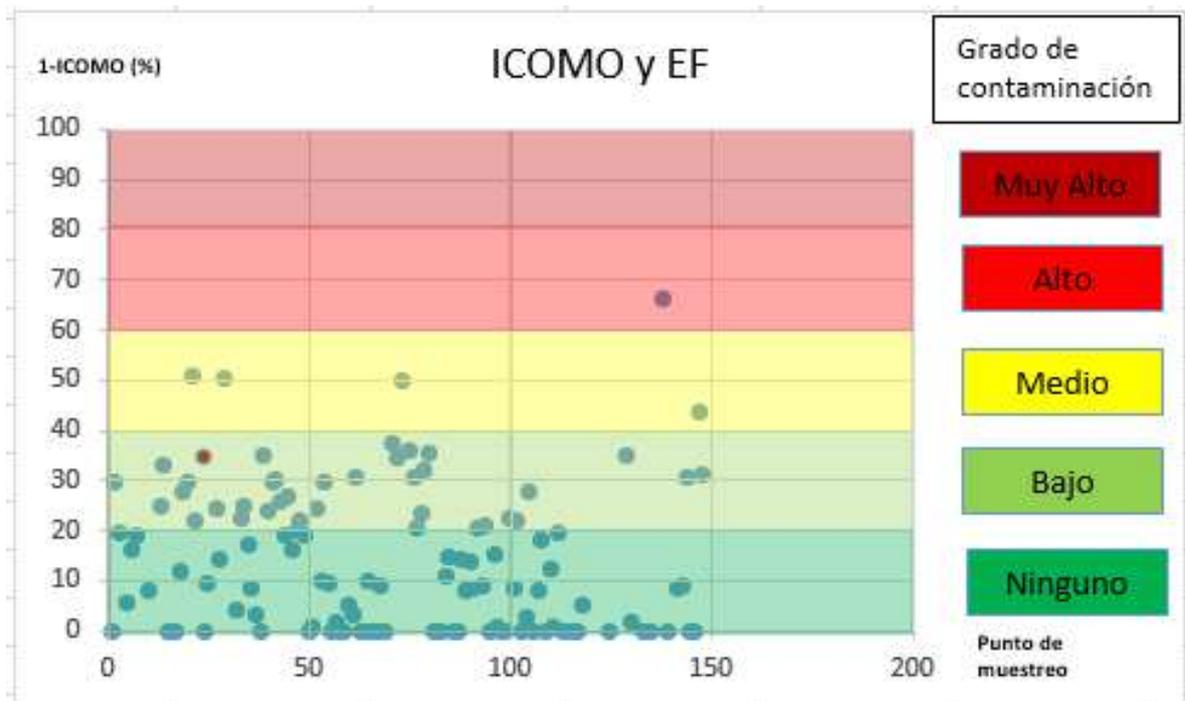


Figura 4.11 Representación del ICOMO para cada punto de muestreo. Comparación con el EF.

En la figura 4.12 se representa la comparación entre las siguientes metodologías de diagnóstico: determinación de ICOMIN y determinación de EF. El ICOMIN se ha calculado para cada uno de los puntos de muestreo siguiendo la metodología de Ramirez et al. Esta metodología clasifica el grado de contaminación en una escala del 0 al 1, es decir en %. Sin embargo para poder representar los resultados de una manera visual y clara, se han extrapolado los valores obtenidos del ICOMIN a % y se ha representado como 1-ICOMIN (%). Se aprecia en la figura que los cinco únicos valores registrados durante 2016 están situados en franjas con contaminación Alta y Muy alta. No hay relación entre los resultados de ambas metodologías. Los puntos que representan el EF Bueno están situados en franjas correspondientes a un ICOMIN Alto o Muy Alto.

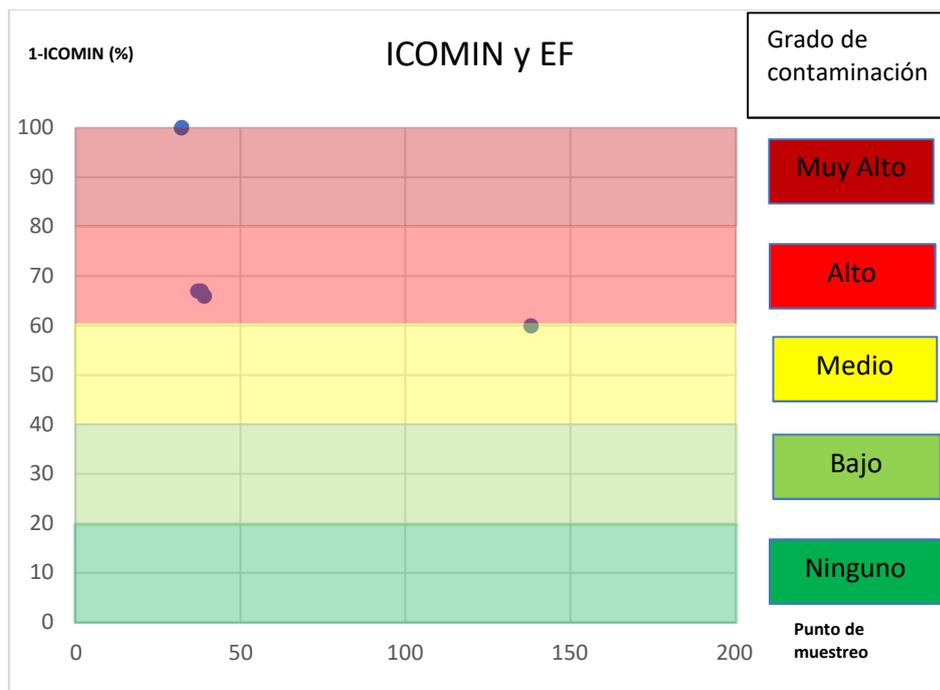


Figura 4.12 Representación del ICOMIN para cada punto de muestreo. Comparación con el estado final.

5. COMPARATIVA CON ESTUDIOS ANTERIORES.

El Método Comparativo, es un procedimiento de comparación sistemática de casos de análisis que en su mayoría se aplica con fines de generalización empírica y de verificación de hipótesis. En otras palabras, el presente estudio utiliza el método comparativo para poder determinar cambios positivos y negativos en la calidad de las aguas superficiales de consumo humano en la cuenca hidrográfica del Ebro.

Se ha utilizado este procedimiento con el fin de comparar los datos obtenidos en el presente estudio con los datos obtenidos por Lopez (2013) en su estudio sobre el análisis de la calidad de las aguas superficiales destinadas a abastecimiento humano de la cuenca del Ebro, utilizando diversas metodologías de diagnóstico.

Se ha seguido la misma metodología analítica que Lopez (2013). Para ello, se ha fijado el mismo área de estudio, el mismo periodo de tiempo, índices de calidad y parámetros.

Comparativa de los puntos de muestreo:

Las Tablas 5.1 y 5.2 muestran los puntos de muestreo clasificados por comunidades autónomas y provincias. Tal y como se observa existe una variación mínima en el número y en la distribución espacial de los puntos de muestreo.

Se observa que se han puesto en marcha y se han desmantelado varios puntos de muestreo. Probablemente se han añadido nuevos puntos de muestreo en lugares donde no existan debido al hallazgo de indicios de incumplimientos de alguno o algunos parámetros que afecten a la calidad de las aguas. Las redes de control y evaluación de la calidad se van revisando y actualizando en función de, entre otras consideraciones, los resultados de años anteriores, nueva normativa, nuevos objetivos de las instituciones, etc.

Tabla 5.1 Puntos de muestreo clasificados por comunidades autónomas y provincias en el año 2016.

Comunidad Autónoma	Provincia	Nº de puntos de muestreo
Aragón	Huesca	13
	Teruel	8
	Zaragoza	22
Cantabria	Cantabria	4
Castilla-León	Burgos	11
	Soria	1
Cataluña	Girona	2
	Lleida	19
	Tarragona	10
La Rioja	La Rioja	14
Navarra	Navarra	12
País Vasco	Álava	9
TOTAL		125

Tabla 5.2 Puntos de muestreo clasificados por comunidades autónomas y provincias en el año 2011.

Comunidad Autónoma	Provincia	Nº de puntos de muestreo
Aragón	Huesca	13
	Teruel	7
	Zaragoza	27
Cantabria	Cantabria	2
Castilla-León	Burgos	11
	Soria	1
Cataluña	Girona	3
	Lleida	24
	Tarragona	8
La Rioja	La Rioja	7
Navarra	Navarra	12
País Vasco	Álava	9
TOTAL		124

Comparativa del Estado Químico

La tabla 5.3 muestra los resultados obtenidos en el estudio previo. Para llevar a cabo la comparativa, la tabla 5.3 se compara con la mostrada en el apartado 4.1.1 (Tabla 4.2).

Se puede observar que existen incumplimientos en NCA-MA, NCA-CMA y NCA-BIOTA, sin embargo en el presente estudio sólo se han registrado incumplimientos de NCA-MA. Cabe destacar que no existen parámetros que incumplan los límites y que se repitan en ambos estudios. Los valores de los parámetros que incumplieron los límites marcados por el RD 60/2011 en el año 2011 fueron el Endosulfán y el Mercurio. Sin embargo los valores de los parámetros que incumplieron los límites marcados por el RD 817/2015 en 2016 fueron el Naftaleno y el Benzo(ghi)perileno.

Una de las principales razones de que no exista continuidad de parámetros infractores es que durante el año 2011 no se han registrado mediciones de los parámetros Endosulfán y Mercurio.

Tabla 5.3 Puntos que no cumplen con un buen Estado Químico y motivos del incumplimiento.

Punto muestreo	NCA-MA	NCA-CMA	NCA-BIOTA	Detalles
Xerta-Tarragona/ Ebro		X	X	* 1 de 12 determinaciones ha superado la NCA-CMA de mercurio (0,00035 mg/L) *Tomando muestras de carpín y carpa se miden 344 µg/kg y 182 µg/kg de mercurio
Fontellas-Navarra/ Ebro	X	X		*2 de 5 determinaciones han superado la NCA-CMA de endosulfán (0,035 mg/L y 0,040 mg/L) *2 de 5 determinaciones han superado el LC de endosulfán. Media anual 0,015 mg/L
Zuera-Zaragoza/ Gállego			X	Tomando muestras de alburno y barbo se miden 164 µg/kg y 319 µg/kg de mercurio
Benabarre-Huesca/ Barranco de Calvo		X		*La determinación han superado la NCA-CMA de endosulfán (0,032 mg/L)
La Molsosa-Lleida/ Llobregos		X		*La determinación han superado (0,023 mg/L) la NCA-CMA de endosulfán
Vilanova de la Barca-Lleida/ Segre		X		*1 de 5 determinaciones endosulfán han (0,020 mg/L) superado la NCA-CMA de
Benifallet-Tarragona/ Ebro		X		*1 de 5 determinaciones han superado la NCA-CMA de endosulfán (0,020 mg/L)
Urrea de Jalón-Zaragoza/ Jalón			X	*Tomando muestras de madrilla y barbo y se miden 43 µg/kg y 67 µg/kg de mercurio
Granja d'Escarp-Lleida/ Segre	X	X	X	*10 de 12 determinaciones han superado el LC de Cadmio. Media anual 0,00012 mg/L *7 de las 12 determinaciones han superado el LC de Plomo, siendo la media anual 0,025 mg/L *1 de las 12 determinaciones han superado la NCA-CMA de cadmio (0,00092 mg/L) *Tomando muestras de alburno y carpa y se miden 51 µg/kg y 117 µg/kg de mercurio
Castroviejo-La Rioja/ Yalde		X		*La determinación ha superado la NCA-CMA de endosulfán (0,082 mg/L)
Nájera-La Rioja/ Najerilla			X	Tomando muestras de piscardo y barbo y se miden 38 µg/kg y 102 µg/kg de mercurio
Logroño-La Rioja/ Ebro			X	Tomando muestras de madrilla y barbo y se miden 14 µg/kg y 54 µg/kg de mercurio

Se observa que el Estado Químico en general ha mejorado porque hay menos puntos que incumplan los límites establecidos. Si bien hay que tener en cuenta que el número de parámetros involucrados en el cálculo del Estado Químico en el año 2016 ha sido menor que en año 2011. Esto es debido a que el volumen de parámetros medidos por los técnicos de la CHE durante el año 2016 ha sido inferior al registrado en 2011. A modo de ejemplo se puede destacar que no existen mediciones de parámetros infractores registrados en 2011 como el Mercurio y el Endosulfán en todo 2016.

Comparativa Estado Ecológico y Estado Final

Las figuras 5.1 y 5.2 muestran el porcentaje que representa cada una de las calidades determinadas para el Estado Ecológico y Estado Final en el año 2011. Para llevar a cabo la comparativa, las figuras 5.1 y 5.2 se comparan con las mostradas en el apartado 4.1.1 (Figura 4.2 y figura 4.3).

Se observa en la figura 5.1 que el 55% de los análisis realizados en 2011 presentaron un EE Bueno o Muy Bueno. En la figura 5.2 referente al EF, se aprecia que el 50% de los puntos analizados correspondieron a un Estado Final Bueno.

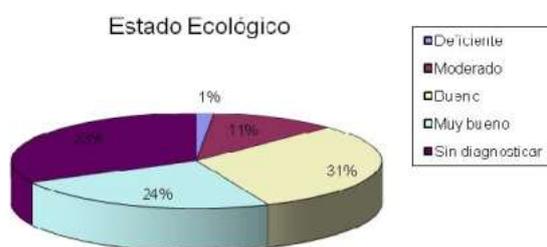


Figura 5.1 Estado Ecológico de los puntos de muestreo en 2011

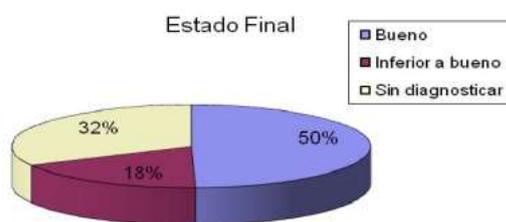


Figura 5.2 Estado Final de los puntos de muestreo en 2011

La tablas 5.4 y 5.5 muestran el resumen de la comparativa del diagnóstico mediante el Estado Ecológico y el Estado Final en los estudios de 2011 y 2016.

Tabla 5.4 Resumen de la comparativa del diagnóstico mediante el Estado Ecológico en los estudios de 2011 y 2016

Estado Ecológico			
Rango	2011	2016	Diferencia
Muy Bueno	24 %	24 %	0 %
Bueno	31 %	54 %	+ 23 %
Moderado	11 %	5 %	- 6 %
Deficiente	1 %	5 %	+ 4 %
Sin diagnosticar	33 %	12 %	- 21 %

Se puede observar que, a excepción del Estado Ecológico deficiente, el resto de estados han mejorado. Cabe destacar el incremento del porcentaje de puntos muestreados y diagnosticados como Buenos en 2016.

También es importante destacar que el porcentaje de puntos de muestreo sin diagnosticar en 2016 (12%) ha mejorado notoriamente en comparación con los resultados de 2011 (33%). Esto indica un mayor control y seguimiento por parte de la administración. Es posible que la diferencia de porcentaje de puntos de muestreo sin diagnosticar en 2011 y en 2016 (-21%) sea la que compense la subida del porcentaje de puntos muestreados y diagnosticados como Buenos en 2016.

Por último y como único dato negativo, se ha registrado un incremento de puntos de muestreo diagnosticados como deficientes en 2016 (5%), en comparación con los resultados registrados en 2011 (1%). Es posible que la diferencia de porcentaje de puntos de muestreo clasificados como Deficientes en 2011 y en 2016 (+4%) sea la que compense la bajada del porcentaje de puntos muestreados y diagnosticados como Moderados en 2016.

Tabla 5.5 Resumen de la comparativa del diagnóstico mediante el Estado Ecológico en los estudios de 2011 y 2016

Estado Final/Estado de las masas de agua superficiales			
Rango	2011	2016	Diferencia
Bueno	50 %	87 %	+ 37 %
Inferior a Bueno	18 %	12 %	- 6 %
Sin diagnosticar	32 %	1 %	- 31 %

Se puede observar que en líneas generales el Estado Final ha mejorado notablemente. El estado Bueno ha mejorado un 37%, estado Inferior a Bueno ha disminuido un 6 % y por último los puntos de muestreo sin diagnosticar se han reducido en un 31%.

Comparativa WQI e ICOs

Las figuras 5.3 y 5.4 Muestran los histogramas correspondientes al WQI e ICOs para el año 2011. Para llevar a cabo la comparativa, las figuras 5.3 y 5.4 se comparan con las mostradas en el apartado 4.2 (Figura 4.4) y en el apartado 4.3 (Figura 4.6).

Se observa en la figura 5.3 que la mayoría de los puntos de muestreo presentaron un WQI Bueno. Cabe destacar la presencia de puntos de muestreo de calidad excelente.

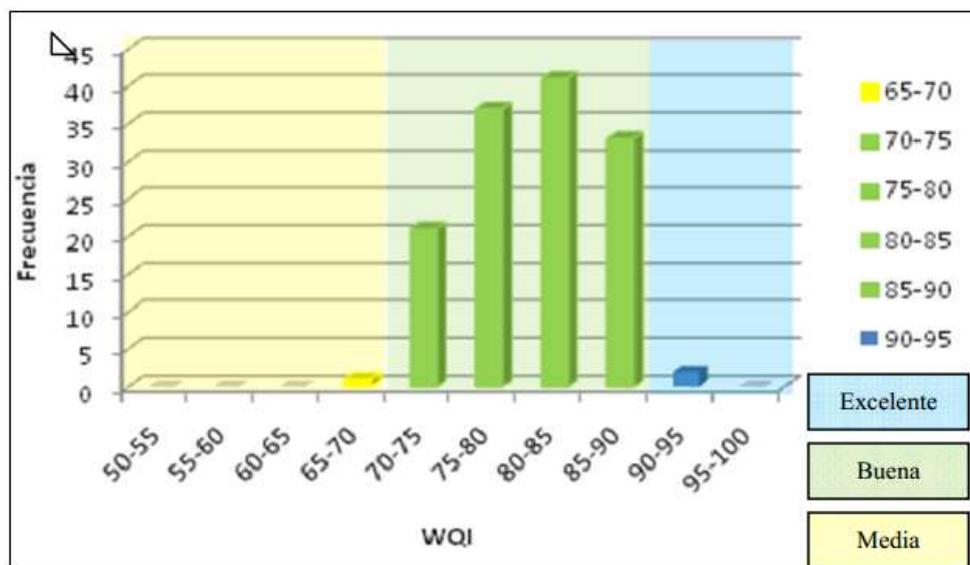


Figura 5.3 Histograma de los resultados del WQI en los puntos de muestreo en el año 2011.

Si observamos el histograma del WQI para el año 2011 y lo comparamos con el de 2016 podemos deducir que existen varias diferencias entre ellos. La primera es que en el año 2011 se dieron puntos de control en lo que el WQI alcanzó un nivel Excelente, no ha sido así con los resultados de 2016 puesto que no se registró ningún valor de WQI Excelente. Se aprecia un claro predominio del WQI Buena en ambos años. Cabe destacar

que en el año 2011 se registraron pocos puntos de muestreo con una WQI Media, sin embargo en 2016 casi el 30% de los puntos obtuvieron esta calificación.

La figura 5.4 muestra el histograma de los resultados de los ICOs en los puntos de muestreo durante el año 2011. Podemos observar que para el ICOSUS y el ICOpH, la mayoría de los puntos de control muestran un grado de contaminación nulo. Sin embargo, para el ICOMO y el ICOMIN los puntos de control muestran mayor variedad de grados de contaminación. Si analizamos la frecuencia resultante de cada uno de los grados de contaminación del ICOMO podemos observar que en 85 puntos de control el grado de contaminación es Nulo y en los 49 restantes, el grado de contaminación es Bajo. En el caso del ICOMIN se aprecia que el grado de contaminación con mayor frecuencia es el Alto, con 26 puntos registrados.

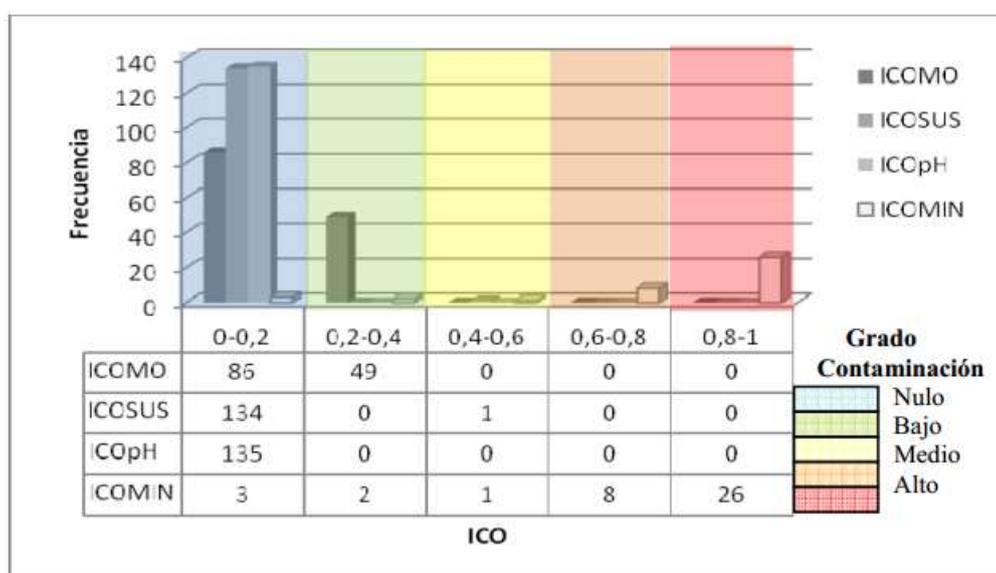


Figura 5.4 Histograma de los resultados de los ICOs en los puntos de muestreo en el año 2011.

Si observamos el histograma del WQI para el año 2011 y lo comparamos con el de 2016 podemos deducir que existen varias diferencias entre ellos. La primera es que en el año 2011 se dieron puntos de control en lo que el WQI alcanzó un nivel Excelente, no ha sido así con los resultados de 2016 puesto que no se registró ningún valor de WQI Excelente. Se aprecia un claro predominio del WQI Buena en ambos años. Cabe destacar que en el año 2011 se registraron pocos puntos de muestreo con una WQI Media, sin embargo en 2016 casi el 30% de los puntos obtuvieron esta calificación.

6. CONCLUSIONES

Al evaluar la calidad de las aguas de las Zonas Protegidas, han obtenido las siguientes conclusiones principales:

- El diagnóstico de la calidad del agua depende de la metodología utilizada. Considerar una metodología u otra puede suponer un resultado de la calidad muy diferente. Establecer programas de control y seguimiento ayuda a diagnosticar deficiencias en el estado de la calidad de las aguas y a definir prioridades con fines de gestión.
- Los ICAs expresan un valor resumido del conjunto de parámetros muestreados por lo que la información final expresada puede aportar una información incompleta sobre la calidad del agua. Los estudios basados en ICAs pueden diagnosticar tendencias temporales en la calidad del agua. Pese a agrupar una gran cantidad de parámetros, no abarcan todos por lo que no existe ningún ICA que represente al 100% la calidad real del agua.

Otras conclusiones obtenidas del estudio son:

- El 83% de los puntos evaluados según la metodología del Estado Químico han presentado un EQ Bueno. Cuatro de los 152 puntos analizados han presentado un EQ No Bueno. Los parámetros implicados en la evaluación del EQ cuyos valores no superan los límites establecidos por ley han sido Naftaleno y Benzo(ghi)perileno.
- 81 puntos de los analizados mediante el Estado Ecológico han presentado un EE Bueno. El porcentaje de puntos evaluados cuyo Estado Ecológico es Bueno o Muy Bueno asciende al 77%. Varios parámetros implicados en el cálculo del EE han sobrepasado los umbrales marcados por el RD 817/2015, estos son Nitrato, Oxígeno disuelto (%sat.), Fosfato y Amonio total.
- El Estado de las masas de agua (EF) Bueno representa el 87% del total de puntos analizados
- 105 puntos de los 152 analizados han presentado un WQI Bueno, representando un 70% del total.
- El ICOpH y el ICOSUS no han presentado nivel de contaminación alguno en ningún punto de control durante el 2016. El ICOMIN es el índice de contaminación que peores resultados ha obtenido, el 100% de los puntos de muestreo evaluados ha presentado niveles de contaminación Alto o Muy Alto. El ICOMO es el índice de contaminación que ha registrado mayor variabilidad de grados de contaminación.

- Existen puntos en los que considerar una metodología u otra conlleva un resultado de la calidad muy diferente, Tal es el caso del punto Zadorra / Vitoria –Trespuentes (0179-FQ), el cual posee un WQI e ICOs positivos pero sin embargo posee valores de EE, EQ y EF desfavorables.
- Los resultados obtenidos en todos los índices a excepción del WQI en 2016 han mejorado en comparación con los determinados en 2011.

7. Bibliografía

- Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4(5), 1-56.
- Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada i Caparrós, N., Casas, J., & Rieradevall i Sant, M. (2002). Caracterización del Estado Ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). *Limnetica*, 2002, vol. 21, num. 3-4, p. 175-185.
- Alonso, A., & Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del Estado Ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Revista Ecosistemas*, 14(3).
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water Sa*, 33(1), 101-106.
- Cañas Arias, J. S. (2014). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua* (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).
- Cárdenas, G., & Cárdenas, J. (2009). Agricultura, urbanización y agua. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. San José, CR ISBN13, 978-92.
- Chavarro, A. G., & Bernal, E. J. G. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Revista Mutis*, 6(2), 19-31.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. (2012). Redes de control. Disponible en: <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/redescontrol/paginas/redesdecontrol.aspx>
- Cude, C. G. (2001). Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137.
- De las Heras Ibáñez, J., & Alcaraz, J. L. M. (2005). La calidad del agua. Contaminación de las aguas producida por la agricultura. Limitaciones para su uso en la agricultura. *Agua y agronomía*, 295.
- Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., & Niell, X. (2005). Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental monitoring and assessment*, 110(1), 301-322.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Fernández, N., Carvajal, L., & Colina, E. (2010). Sistema Difuso Tipo Mamdani para la Determinación Genérica de la Calidad del Agua. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 8(1).
- Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & PARRA, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), 275-285.
- Giménez, R., Casalí, J., & Díez, J. (2012). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y CALIDAD DE LAS AGUAS EN CUENCAS AGRARIAS DE NAVARRA. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1).
- Gurrea, M. (2000). Análisis de componentes principales. *Proyecto e-Math Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD)*.

- Jiménez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en recursos hidráulicos*, (14).
- Kaurish, F. W., & Younos, T. (2007). Developing a standardized water quality index for evaluating surface water quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(2), 533-545.
- Landwehr, J. M., & Deininger, R. A. (1976). A comparison of several water quality indexes. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 954-958.
- Lumb, A., Sharma, T. C., & Bibeault, J. F. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. *Water Quality, Exposure and Health*, 3(1), 11-24.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Marco legal. (2015) Disponible en: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/legislacion/ObservatorioNacionalSequia2legislacion.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2015). PRTR Amoniaco. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/NH3-amoniac,15593,11,2007.htmlNH3amoniac,15593,11,2007.html>
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2015). PRTR fósforo. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Fosforo-total,15600,11,2007.html>
- Martín, A. (2013). Análisis de la calidad de las aguas superficiales destinadas a abastecimiento humano de la cuenca del Ebro, utilizando diversas metodologías de diagnóstico.
- Martínez de Basarán, G. (1976). El índice de calidad del agua, *Ing. Quím.*: 45 - 49.
- Miguel, A. H., & Pereira, P. A. (1989). Benzo (k) fluoranthene, benzo (ghi) perylene, and indeno (1, 2, 3-cd) pyrene: new tracers of automotive emissions in receptor modeling. *Aerosol Science and Technology*, 10(2), 292-295.
- National Sanitation Foundation. *Basin Water Quality Information References*. 1970. National Sanitation Foundation Water Quality Index.
- Prati, L., Pavanello, R., & Pesarin, F. (1971). Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water research*, 5(9), 741-751.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153.
- Pérez, G. R. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99.
- Ravikumar, P., Mehmood, M. A., & Somashekar, R. K. (2013). Water quality index to determine the surface water quality of Sankey tank and Mallathahalli lake, Bangalore urban district, Karnataka, India. *Applied water science*, 3(1), 247-261.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 219, de 11 de septiembre de 2015, pp. 80582-97921. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>

Sánchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., García, M. G., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7(2), 315-328.

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3).

Tomás, P., Moreno, J. L., Aboal, M., Oscoz, J., Durán, C., & Navarro, P. (2016). Evaluación del Estado Ecológico de los ríos de la cuenca del río Ebro mediante el índice trófico de macrófitos IVAM-G (Índice de Vegetación Acuática Macroscópica). *Limnetica*, 35(1), 219-234.

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.

Valverde-Solis, A., Moreno-Tamayo, E., & Ortiz-Palacios, N. Y. (2017). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 34(1), 14-21.

Vizcaíno, L. (2009). Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. *Instituto Mexicano de Tecnología del agua*. Disponible en <http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>.

Villalba, J. D. G., & Vergara, A. A. F. (2016, October). Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua en la ciénaga de Betancí, Departamento de Córdoba-Caribe colombiano. In 2014.

Yamasaki, H., Kuwata, K., & Miyamoto, H. (1982). Effects of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental science & technology*, 16(4), 189-194.

Rincón Galán, Y. A., Ardila, D., Del Socorro, D., & Castrillón Cardona, W. F. (2011). Current diagnosis of the physico-chemical parameters such as indicators of environmental contamination in river Apulo, Cundinamarca-Colombia. *Tecnura*, 15(28), 53-67.