

En la elaboración de este capítulo han participado:
Raquel Vaquer-Sunyer, Natalia Barrientos, Benjamí Reviriego, Mar Santandreu y Sergio Martino.

Índice Multivariante *Posidonia oceanica* (POMI)

La Directiva marco del agua (DMA 2000/60/CEE) establece las bases para la vigilancia, protección y mejora del estado ecológico de los sistemas acuáticos en los países miembros de la Unión Europea. El principal objetivo de la DMA es alcanzar (o mantener) al menos un estado ecológico bueno de las masas de agua europeas para el año 2015.

Esta directiva introduce el uso obligatorio de bioindicadores para evaluar el estado ecológico de los sistemas acuáticos.

Para las aguas costeras marinas, los organismos que se han utilizado como bioindicadores (Biological Quality Elements, BQE) son: fitoplancton, macroalgas, macroinvertebrados y angiospermas.

En el caso de las fanerógamas marinas (angiospermas), se ha elegido el uso de la especie *Posidonia oceanica* y el Índice Multivariante POMI.

La planta marina *Posidonia oceanica* presenta ciertas características que la hacen adecuada para medir correctamente el estado ecológico de las aguas costeras. Por un lado, tiene una alta sensibilidad a las perturbaciones ambientales—por ejemplo, a la disminución de la transparencia del agua, la eutrofización, la contaminación o la erosión. Por otro, es una especie ampliamente distribuida a lo largo de la costa mediterránea y en las Islas Baleares es la planta marina dominante. Finalmente, el gran conocimiento de su biología, la ecología de la especie y sus respuestas específicas asociadas a impactos antropogénicos la convierten en buena candidata para ser empleada eficientemente como elemento biológico de calidad en el mar Mediterráneo.

NORMATIVA

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, que establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva marco del agua).
- Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la

que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina).

- Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye, en su artículo 129, la modificación del texto de la Ley de aguas, aprobado por el Real decreto legislativo 1/2001, de 20 de julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Decreto ley 1/2015, de 10 de abril, por el que se aprueba la Instrucción de planificación hidrológica para la demarcación hidrográfica intracomunitaria de las Illes Balears (BOIB núm. 52 de 11 de abril de 2015).
- Real decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la planificación hidrológica.

METODOLOGÍA

Se ha evaluado el estado ecológico de las aguas costeras de las Islas Baleares utilizando como indicador la fanerógama marina *Posidonia oceanica*, siguiendo las directrices de la Directiva marco del agua (DMA). Los resultados presentados provienen de tres estudios¹⁻³ en los que se ha empleado el Índice Multivariante *Posidonia oceanica* (POMI en sus siglas en inglés), basado en el estudio de variables fisiológicas, morfológicas, estructurales y a nivel de ecosistema que pueden relacionarse inequívocamente con la calidad del agua.⁴

¿QUÉ ES?

Es uno de los índices biológicos que se emplean para determinar el estado de las masas de agua costeras definidas por la Directiva marco del agua (DMA). Utiliza la angiosperma marina *Posidonia oceanica* para determinar la calidad del agua.

Esta planta presenta determinadas características que la hacen adecuada para ser empleada eficientemente como elemento biológico de calidad: tiene una alta sensibilidad a las perturbaciones ambientales, es una especie ampliamente distribuida a lo largo de la costa mediterránea —en las Islas Baleares es la especie de planta dominante— y existe un gran conocimiento de su biología, ecología de la especie y sus respuestas específicas asociadas a impactos antropogénicos.

METODOLOGÍA

Se ha evaluado el estado ecológico de las aguas costeras de las Islas Baleares utilizando *Posidonia oceanica* como indicador siguiendo las directrices de la Directiva marco del agua (DMA). Los resultados presentados provienen de tres estudios¹⁻³ en los que se ha empleado el Índice Multivariante *Posidonia oceanica* (POMI).⁴

El POMI se basa en la combinación, mediante el análisis de componentes principales (PCA), de descriptores fisiológicos, morfológicos, estructurales y a nivel de ecosistema que están relacionados inequívocamente con la calidad ambiental.⁴ Los valores del eje principal se normalizan a una escala entre 0 y 1 (EQR) empleando valores de estaciones de referencia óptimos y pésimos —estaciones virtuales construidas con la media del 10 % de los mejores valores de cada una de las métricas empleadas para calcular el POMI en el caso del óptimo, y del 10 % de los peores valores en el caso del pésimo.⁴ Los estados ecológicos se clasifican de acuerdo con los valores obtenidos de EQR.

Se han empleado metodologías diferentes para calcular las estaciones de referencia entre el estudio realizado en los años 2017-2018 y los dos anteriores, por tanto los resultados no son comparables.

RESULTADOS

- Empleando *Posidonia oceanica* como indicador siguiendo las directrices de la Directiva marco del agua (DMA), se ha observado un declive gradual de la calidad de las masas de agua de las Baleares.
- En los años 2005 y 2006 casi todas las estaciones se encontraban en estado muy bueno (43,6 %) o bueno (52,7 %) y solo 2 estaciones tenían un estado moderado (3,6 %). Una única masa de agua tenía un estado moderado: la bahía de Palma —de Cap Enderrocat a Cala Major.
- En los años 2008 y 2009 se triplicó el número de estaciones en un estado ecológico moderado, incumpliendo la Directiva marco del agua (Port d'Alcúdia, Cala Gamba, Can Picafort, Magaluf, Cap Negret y

¿POR QUÉ?

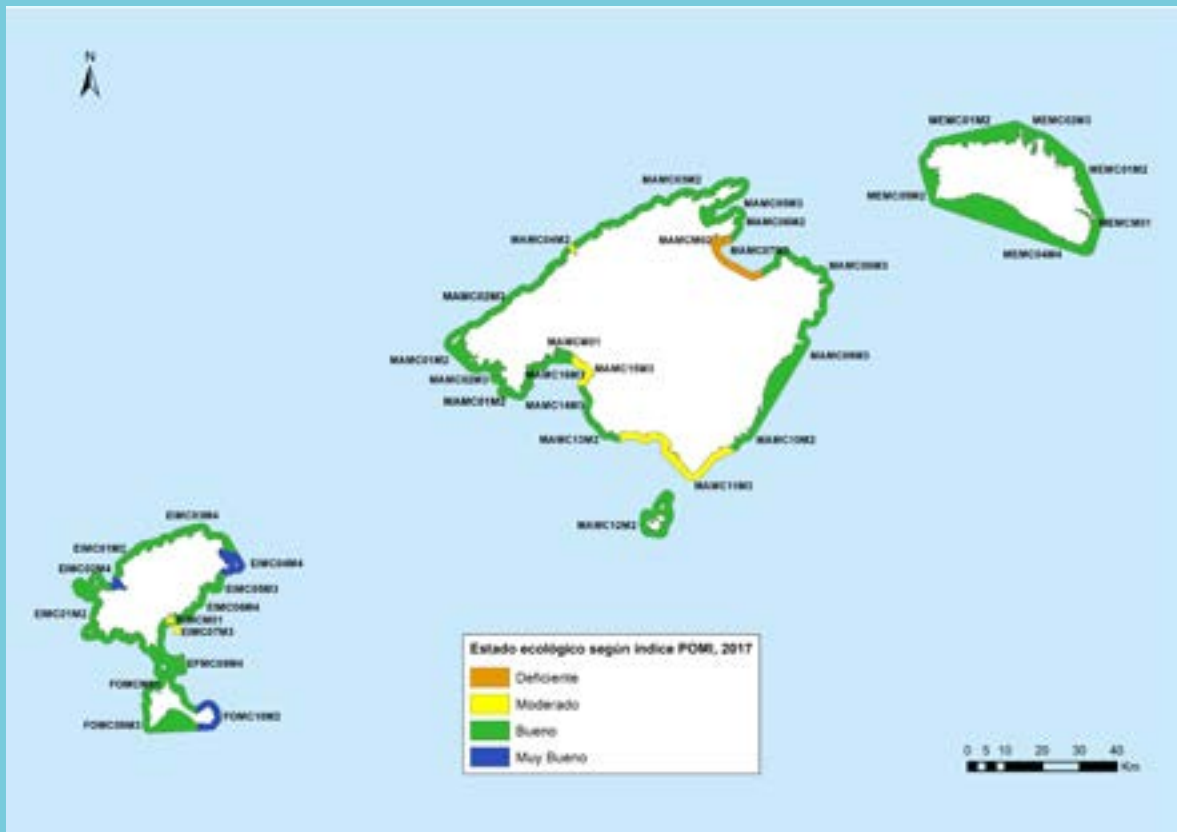
El principal objetivo de la Directiva marco del agua (DMA 2000/60/CEE) es conseguir (o mantener) al menos un estado ecológico bueno de las masas de agua europeas. Esta directiva introduce el uso obligatorio de bioindicadores para evaluar el estado ecológico de los sistemas acuáticos. Las comunidades de angiospermas marinas y en concreto *Posidonia oceanica* es adecuada para medir correctamente el estado ecológico de las aguas costeras.

LOCALIZACIÓN



Santa Eulària). El número de masas de agua en estado moderado pasó de 1 a 2: bahía de Alcúdia y de Cala Llenya a Punta Blanca (zona de Santa Eulària, Ibiza).

- Se han empleado diferentes metodologías para calcular los valores de referencia. Por tanto, no se pueden comparar los resultados de los estudios realizados en los años 2005-2006 y 2008-2009 con el estudio de los años 2017-2018.
- Se aprecia una disminución de la calidad del agua entre los años 2005 y 2017. En los años 2017-2018 se encontraron por primera vez 2 masas de agua en estado ecológico deficiente (6 %): bahía de Alcúdia y Port d'Alcúdia, y 4 masas de agua en estado ecológico moderado: de Cap Enderrocat a Cala Major, bahía de Sóller, de Cala Figuera a Cala Beltran y el puerto de Ibiza.



Estado ecológico de las diferentes masas de agua para los años 2017–2018. FUENTE: Santandreu *et al.*³

REFERENCIAS

- ¹ DUARTE, C. M. *et al.* (2010). «Estudi d'implementació de la directiva marc de l'aigua a Balears: Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant indicadors i índex biològics. Element biològic de qualitat: *Posidonia oceanica*. 2008-2009». Palma: Agència Balear de l'Aigua i de la Qualitat Ambiental de la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.
- ² DUARTE, C. M. *et al.* (2007). «Estudi d'implementació de la directiva marc de l'aigua a Balears: Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant indicadors i índex biològics. Element biològic de qualitat: *Posidonia oceanica*». Palma: Agència Balear de l'Aigua i de la Qualitat Ambiental de la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.
- ³ SANTANDREU, M. M. *et al.* (2019). «Monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de las masas de aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears utilizando el elemento biológico de calidad *Posidonia oceanica*. 2017» [Informe tècnic]. FOA Ambiental S.L.-Centre Balear de Biologia Aplicada; Direcció General de Recursos Hídrics del Govern de les Illes Balears.
- ⁴ ROMERO, J. *et al.* (2007). «A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the water framework directive (WFD)». *Marine Pollution Bulletin*, 55, 196-204. DOI:10.1016/j.marpolbul.2006.08.032.

PUNTOS DE MUESTREO Y MASAS DE AGUA

El Govern de les Illes Balears definió 31 masas de agua (MA) en el año 2005: 16 en Mallorca, 10 en Ibiza y Formentera y 5 en Menorca. El número de masas de agua se aumentó hasta 38 en los años 2008-2009 (19 en Mallorca, 8 en Menorca y 11 en Ibiza y Formentera) y se redujo a 37 en 2017 (18 en Mallorca, 5 en Menorca y 14 en Ibiza y Formentera) (Tabla 1). Por tanto, las masas de agua de los diferentes estudios no son exactamente las mismas, y hay algunas de las que solo se obtienen datos en uno de los estudios.

El número de estaciones muestreadas en los diversos estudios ha ido aumentando a lo largo del tiempo. Mientras que en el estudio realizado en los años 2005-2006 se analizaron un total de 58 estaciones,² en el estudio de los años 2008-2009¹ fueron 73 estaciones, y en los años 2017-2018 se analizaron 76 (Tabla 1).³

Tabla 1. Número de masas de agua y estaciones de cada uno de los estudios.

AÑO	NÚM. MASAS DE AGUA	NÚM. DE ESTACIONES
2005	31	58
2008	38	73
2017	37	76

ANÁLISIS

De cada masa de agua se cuantificaron:

→ Descriptores estructurales:

- Cobertura de la pradera.
- Densidad total de haces.
- Densidad de ápices de rizomas horizontales (plagiotropos) y verticales (ortótropos).
- % de ápices de rizomas horizontales (plagiotropos).
- Superficie foliar.
- % de hojas necrosadas y longitud foliar necrosada por haz.

→ Descriptores químicos:

- Concentración de nitrógeno en hojas y rizomas.
- Concentración de fósforo en hojas y rizomas.
- Concentración de azufre total en hojas y rizomas.
- Concentración de nitrógeno en epífitos foliares.
- Abundancia isotópica de ¹⁵N en hojas y rizomas.
- Abundancia isotópica de ³⁴S en hojas y rizomas.
- Contenido en metales de rizomas (Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) (solo analizados en los años 2005-2006).

→ Descriptores fisiológicos:

- Concentración de carbohidratos no estructurales —sacarosa y almidón— en rizomas.

→ Descriptores demográficos (solo 9 praderas del estudio realizado en los años 2008-2009):

- Tasa anual específica de mortalidad (M, año⁻¹).
- Reclutamiento (R, año⁻¹).
- Crecimiento neto de la población (μ , año⁻¹).

El análisis de las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y azufre, así como la abundancia natural del isótopo 15 de nitrógeno y 34 de azufre en los diferentes tejidos (hojas y rizomas) y en la comunidad epífita, permiten cubrir diferentes escalas temporales posibles de cambio. Mientras que los rizomas tienen generalmente una vida más larga que las hojas —llegando a vivir más de 50 años en algunos casos—, las hojas tienen una vida máxima de 300 días.⁵ Así, los rizomas pueden acumular una cantidad mayor de nutrientes en sus tejidos, los nutrientes de las hojas dan una estima del estado del agua del año anterior, y los epífitos que recubren las hojas sirven de indicador de la cantidad de nutrientes en el ambiente.

La abundancia isotópica de ¹⁵N en hojas y rizomas es un descriptor que ayuda a averiguar el origen del nitrógeno que forma parte de los tejidos de *P. oceanica*. La señal isotópica del nitrógeno atmosférico es cercana a cero; por tanto, si los tejidos de las plantas tienen una señal isotópica cercana a cero habrán adquirido este nitrógeno mediante la fijación de nitrógeno atmosférico.

La abundancia isotópica de ³⁴S indica si ha habido intrusión de ácido sulfhídrico (H₂S) en planta a través del sedimento. La posidonia es una planta especialmente sensible a la intrusión de ácido sulfhídrico, y bajas concentraciones (10 μ M) causan su mortandad.⁶ Valores menores de 19-20 ‰ de ³⁴S en hojas indican que ha habido intrusión y, por tanto, la planta se encuentra afectada por esta sustancia.⁷

CLASIFICACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA

Para clasificar las masas de agua costera de las Balears utilizando como Elemento Biológico de Calidad (BQE en sus siglas en inglés) *Posidonia oceanica*, se ha empleado el Índice Multivariante POMI (*Posidonia oceanica* Multivariate Index), siguiendo la metodología descrita por Romero y colaboradores.⁴

El POMI se basa en la combinación, a través del análisis de componentes principales (PCA), de descriptores (o métricas) fisiológicos, morfológicos, estructurales y a nivel de ecosistema que están relacionados inequívocamente con la calidad ambiental.⁴ Los valores del eje principal se normalizan a una escala entre 0 y 1 (EQR) empleando estaciones de referencia óptimas y pésimas —estaciones virtuales, construidas con la media del 10 % de los mejores valores de cada una de las métricas empleadas para calcular el POMI en el caso de la óptima, y del 10 % de los peores valores en el caso de la pésima.⁴ Los estados ecológicos se clasifican según los valores de EQR obtenidos (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías del estado ecológico según el EQR.⁴

ESTADO ECOLÓGICO	EQR
Muy bueno	0,775 - 1
Bueno	0,550 - 0,774
Moderado	0,325 - 0,549
Deficiente	0,1 - 0,324
Malo	< 0,1

Tabla 3. Lista de descriptores empleados en los diferentes estudios.^{1-4,8}

	POMI 14	POMI 5	POMI 9	POMI 11
Descriptores	Romero <i>et al.</i> ⁴	Estudios 2005-2006 y 2008-2009 ^{1,2}	Bennet <i>et al.</i> ⁸	Estudio 2017-2018 ³
Densidad de haces	X		X	X
Cobertura	X	X	X	X
Porcentaje de haces plagiotrópicos	X			X
Superficie foliar	X		X	X
Porcentaje de hojas necrosadas	X		X	X
Contenido en nitrógeno de los rizomas	X	X		X
Contenido en fósforo de los rizomas	X	X		X
Concentración de carbohidratos no estructurales en rizomas	X		X	X
Abundancia isotópica de ¹⁵ N en rizomas	X	X	X	X
Abundancia isotópica de ³⁴ S en rizomas	X	X	X	X
Concentración de nitrógeno en epífitos foliares	X		X	X
Concentración de cobre en rizomas	X			
Concentración de plomo en rizomas	X		X	
Concentración de zinc en rizomas	X			

Romero y colaboradores propusieron este índice basándose en 14 métricas (POMI 14):

- 5 métricas representativas del nivel fisiológico (contenido en nitrógeno, fósforo y sacarosa y abundancia isotópica de ¹⁵N y ³⁴S en rizomas).
- 2 del nivel individual (porcentaje de hojas con necrosis y área foliar).
- 3 del nivel de población (cobertura de la pradera, densidad de haces y porcentaje de rizomas plagiotropos —horizontales—).
- 1 del nivel de comunidad (contenido en nitrógeno de epífitos).
- 3 indicadores de contaminación (concentración de cobre, plomo y zinc en rizomas).

Otro estudio concluyó que empleando solo 9 métricas (POMI 9) —excluyendo el contenido en fósforo, nitrógeno, cobre y zinc de rizomas y porcentaje de rizomas plagiotropos— se obtenían los mismos resultados que empleando 14 (POMI 14).⁸

Algunas métricas utilizadas muestran una gran variabilidad estacional, como por ejemplo la superficie foliar o longitud necrosada de las hojas. Ello podría dar lugar a errores y clasificaciones erróneas del estado de la calidad del agua. Para minimizar diferencias en el estado ecológico (EQR) causadas por diferencias en el momento del muestreo, en los estudios realizados por personal investigador del Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA) (en los años 2005-2006 y 2008-2009) se optó por

incluir solo 5 métricas en el análisis de componentes principales (Tabla 3):

- Cobertura de la pradera.
- Contenido en nitrógeno de los rizomas.
- Contenido en fósforo de los rizomas.
- Abundancia isotópica de ¹⁵N en rizomas.
- Abundancia isotópica de ³⁴S en rizomas.

En los estudios realizados por el IMEDEA en los años 2005-2006 y 2008-2009, para determinar una estación de referencia óptima y pésima se emplearon las medias de los 3 mejores valores de cada una de las métricas utilizadas para calcular el POMI, en el caso de la óptima, y de los 3 peores valores en el caso de la pésima, de estaciones tanto de las Baleares como de Cataluña que habían sido muestreadas durante el mismo período. Se optó por incluir estaciones de Cataluña porque los valores pésimos obtenidos para las Baleares eran cercanos a los valores del estado óptimo en otras zonas del Mediterráneo (como por ejemplo Cataluña). Esta metodología se adoptó en colaboración con el investigador Javier Romero, quien desarrolló el índice POMI.

En el estudio elaborado en los años 2017-2018 se incluyeron en el análisis de componentes principales las 11 métricas establecidas en el pliego de condiciones de la licitación del estudio. En este estudio se emplearon el 10 % de los mejores y peores valores medidos en las Baleares para calcular las estaciones de referencia óptima y pésima respectivamente, tal

como se describe en el artículo científico donde se desarrolla el índice POMI.⁴ Además de calcular el POMI 11, se añadió un anexo calculando el POMI 5 con los descriptores empleados en estudios anteriores como herramienta comparativa. Los autores defienden la validez del POMI 11 y alegan que el POMI 5 no es estadísticamente correcto, al dar como resultado una estación con presencia de posidonia en estado malo, cuando por el solo hecho de estar presente ya no podría considerarse en dicho estado. Además, esta estación tiene un valor de EQR menor que el de la estación de referencia pésima.³

El hecho de calcular de forma diferente los valores de referencia óptimo y pésimo provoca que los diversos estudios no sean comparables y no se pueda establecer cuál ha sido la tendencia de la calidad del agua en las diferentes estaciones y masas de agua.

RESULTADOS

Estado ecológico de las estaciones

En el estudio realizado en los años 2005 y 2006 se determinó el estado ecológico de un total de 55 estaciones (de las 58 muestreadas). La mayoría de estaciones se encontraban en un estado ecológico muy bueno (24 estaciones, 43 %) o bueno (29 estaciones, 53 %) y solo dos en estado moderado (4 %).² Estas dos estaciones en estado moderado incumplirían la Directiva marco del agua (DMA) al encontrarse en un estado ecológico peor que bueno. Se trata de Son Verí y Port d'Alcúdia, con prácticamente el mismo EQR. En los años 2005-2006 no se encontró ninguna estación en estado deficiente o moderado (Tabla 4, Figura 1).

Tabla 4. Valores de EQR y estado ecológico de las estaciones muestreadas según el índice POMI que corresponden a las cinco categorías de estado ecológico propuestas por la DMA. FUENTE: Duarte *et al.*, Santandreu *et al.*¹⁻³

Masa de agua	Estación	EQR 05/06	EQR 08/09	EQR 17/18 POMI 5	EQR 17/18 POMI 11	Estado ecológico 05/06	Estado ecológico 08/09	Estado ecológico 17/18 POMI 5	Estado ecológico 17/18 POMI 11
MAMC12M2	Es Castell (Cabrera)	0,982	0,748	0,870	0,739	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
EFMC08M4	Ses Illetes (Formentera)	0,939	0,752	0,899	0,810	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
MAMC12M2	S'Olla (Cabrera)	0,914		0,803	0,699	Muy bueno		Muy bueno	Bueno
MAMC01M2	Cala Marmassen	0,906	0,753	0,745	0,670	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
FOMC09M3	Platja des Migjorn	0,898	0,764	0,910	0,712	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
MAMC12M2	Santa María (Cabrera)	0,893	0,882	0,917	0,740	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
EFMC08M4	Cala Torreta	0,888	0,742	0,879	0,740	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
EFMC08M4	Es Pujols	0,877	0,856	0,849	0,760	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
EIMC01M2	Cap des Mossons	0,875	0,652	0,612	0,627	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
EFMC08M4	Ses Salines	0,87		0,717	0,623	Muy bueno		Bueno	Bueno
MAMC05M3	Illa de Formentor	0,861	0,825	0,818	0,599	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
MAMC03M2	Cap de Formentor	0,856	0,758	0,646	0,604	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC03M2	Cala Deià	0,84	0,693	0,758	0,559	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
EIMC01M2	Cala Llonga	0,835	0,747	0,639	0,695	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC08M3	Cala Matzoc	0,834		0,839	0,673	Muy bueno		Muy bueno	Bueno
EIMC07M3	Platja d'en Bossa	0,823	0,776	0,665	0,755	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC01M2	S'Arenal de s'Olla	0,822	0,748	0,748	0,642	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC01M2	Sa Dragonera	0,818	0,847	0,684	0,646	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MAMC09M3	Cala Millor	0,818		0,639	0,516	Muy bueno		Bueno	Moderado
MAMC05M3	Pollença	0,815	0,797	0,859	0,769	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
EIMC04M4	Punta d'en Valls	0,811	0,722	0,793	0,765	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
EIMC02M4	Sant Antoni	0,807	0,769	0,721	0,788	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
MEMC02M3	Fornells	0,805	0,837	0,725	0,655	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC01M2	Platja des Grau	0,784		0,714	0,763	Muy bueno		Bueno	Bueno
EIMC07M3	Talamanca	0,771	0,777	0,582	0,649	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
Puerto de Palma	Ses Illetes	0,764	0,771	0,622	0,563	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC16M3	Magalluf	0,762	0,519	0,716	0,640	Bueno	Moderado	Bueno	Bueno
EIMC01M2	Cap Llentrisca	0,758	0,744	0,722	0,599	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC11M3	Colònia de Sant Jordi	0,755		0,405	0,408	Bueno		Moderado	Moderado
MAMC06M2	Cap de Menorca	0,744	0,782	0,679	0,655	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC05M2	S'Arenal de Son Saura	0,744	0,755	0,678	0,624	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno

Masa de agua	Estación	EQR 05/06	EQR 08/09	EQR 17/18 POMI 5	EQR 17/18 POMI 11	Estado ecológico 05/06	Estado ecológico 08/09	Estado ecológico 17/18 POMI 5	Estado ecológico 17/18 POMI 11
MAMC13M2	Cap Blanc	0,725	0,837	0,728	0,657	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC05M2	Cala Blanca	0,722	0,626	0,636	0,526	Bueno	Bueno	Bueno	Moderado
EIMC03M4	Punta des Gat	0,711	0,655	0,665	0,654	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MEMC01M2	Illa de ses Bledes	0,703	0,73	0,811	0,691	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
MAMC09M3	Porto Cristo	0,695	0,655	0,580	0,528	Bueno	Bueno	Bueno	Moderado
EIMC06M4	Punta dets Andreus	0,693	0,793	0,639	0,728	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MAMC01M2	Cala Figuera (Portals Vells)	0,689	0,7	0,666	0,669	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC07M3	Can Picafort	0,687	0,512	0,050	0,180	Bueno	Moderado	Malo	Deficiente
MEMC01M2	S'Algar	0,684	0,669	0,626	0,727	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MEMC04M4	Cap de ses Penyes	0,681	0,591	0,513	0,517	Bueno	Bueno	Moderado	Moderad
FOMC09M3	Punta Rasa	0,679	0,75	0,636	0,703	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC10M2	Cala d'Or	0,674	0,581	0,433	0,439	Bueno	Bueno	Moderado	Moderado
MAMC10M2	Mondragó	0,663	0,659	0,769	0,765	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MEMC04M4	Biniacolla	0,66	0,713	0,734	0,787	Bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
MAMC10M2	Portocolom	0,653		0,636	0,517	Bueno		Bueno	Moderado
EIMC05M3	Santa Eulària	0,645	0,539	0,724	0,612	Bueno	Moderado	Bueno	Bueno
MAMC02M2	Santa Ponça	0,643	0,645	0,660	0,649	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MEMC04M4	Cala Galdana	0,618	0,72	0,430	0,556	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno
MAMC15M3	Cala Gamba	0,606	0,486	0,260	0,371	Bueno	Moderado	Deficiente	Moderado
Puerto de Maó	Puerto de Maó	0,579	0,633	0,460	0,593	Bueno	Bueno	Moderado	Bueno
EIMC01M2	Cala Tarida	0,572	0,767	0,819	0,732	Bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
MAMC14M3	Hotel Delta	0,567	0,66	0,579	0,646	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC07M3	Port d'Alcúdia	0,484	0,366	0,120	0,103	Moderado	Moderado	Deficiente	Deficiente
MAMC15M3	Son Verí	0,483	0,618	0,476	0,505	Moderado	Bueno	Moderado	Moderado
FOMC10M2	Punta de sa Creu (Formentera)		0,647	0,842	0,904		Bueno	Muy bueno	Muy bueno
EIMC04M4	Cala Llenya		0,731	0,787	0,830		Bueno	Muy bueno	Muy bueno
MAMC01M2	El Toro		0,786	0,861	0,827		Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
EIMC01M2	Cap Negret		0,531	0,810	0,768		Moderado	Muy bueno	Bueno
MAMC11M3	Es Caragol		0,681	0,803	0,767		Bueno	Muy bueno	Bueno
Puerto de Formentera	La Savina			0,898	0,762			Muy bueno	Bueno
MAMC06M2	Cap Pinar		0,88	0,764	0,750		Muy bueno	Bueno	Bueno
MAMC03M2	Cala Tuent			0,860	0,721			Muy bueno	Bueno
MAMC01M2	Punta de na Galinda		0,837	0,777	0,661		Muy bueno	Muy bueno	Bueno
MAMC14M3	Cap Enderrocat			0,698	0,653			Bueno	Bueno
MAMC13M2	Punta Llobera		0,748	0,689	0,646		Bueno	Bueno	Bueno
EIMC03M4	Punta de sa Creu (Ibiza)		0,848	0,601	0,632		Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC01M2	Cala Morell		0,722	0,712	0,622		Bueno	Bueno	Bueno
MAMC09M3	Cala Rajada			0,722	0,621			Bueno	Bueno
MEMC04M4	Cala en Porter		0,655	0,598	0,580		Bueno	Bueno	Bueno
MAMC08M3	Es Caló		0,751	0,632	0,552		Bueno	Bueno	Bueno
Puerto de Ibiza	Puerto de Ibiza			0,506	0,535			Moderado	Moderado
MAMC04M2	Port de Sóller		0,65	0,584	0,505		Bueno	Bueno	Moderado
MAMC11M3	S'Estanyol		0,563	0,370	0,355		Bueno	Moderado	Moderado
MAMC07M3	Son Serra de Marina		0,564	0,152	0,148		Bueno	Deficiente	Deficiente
Port d'Alcúdia	Port d'Alcúdia Zona 2			0,132	0,103			Deficiente	Deficient

Estaciones

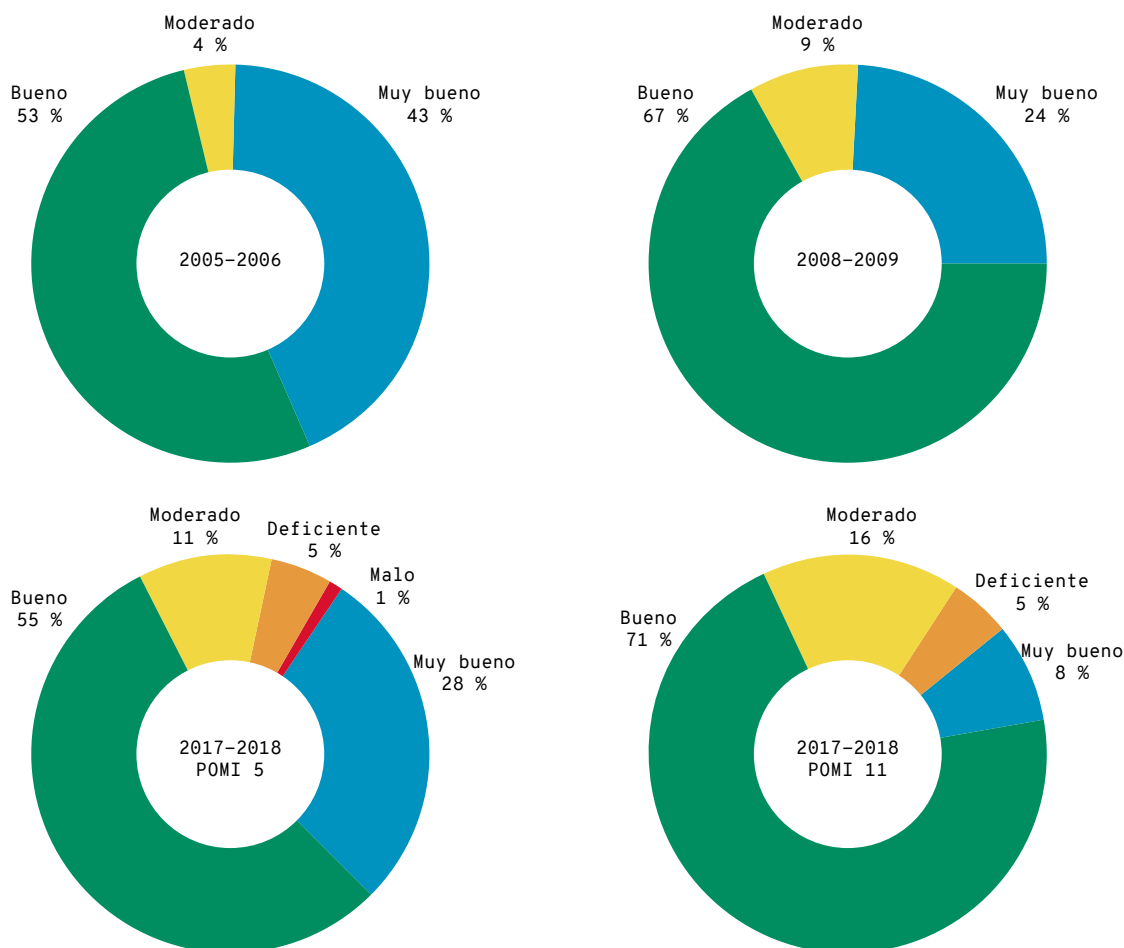


Figura 1. Porcentaje de estaciones en cada uno de los diferentes estados ecológicos para los diversos estudios. En el caso del estudio realizado en los años 2017-2018 se presentan los resultados con las dos metodologías diferentes (PONI 11 y PONI 5). FUENTE: Duarte *et al.*, Santandreu *et al.*¹⁻³

En los años 2008-2009 hubo un ligero empeoramiento de la calidad de las masas de agua. Se pasó de tener un 43 % de las estaciones en muy buen estado ecológico en los años 2005-2006 a solo un 24 % (15 estaciones). La mayoría de estaciones pasaron a un estado ecológico bueno (42 estaciones, 67 % del total).¹ También se incrementó el número de estaciones en un estado moderado, que se triplicó, pasando de 2 a 6 estaciones (9 %) (Figura 1, Tabla 4). Estas 6 estaciones en estado moderado y que, por tanto, incumplen la DMA, en orden de menor a mayor EQR —de peor a mejor estado— son: Port d'Alcúdia, Cala Gamba, Can Picafort, Magaluf, Cap Negret y Santa Eulària. En los años 2008-2009 no se encontró ninguna estación en estado deficiente o moderado (Tabla 4, Figura 1).

En el estudio realizado en los años 2017-2018 no se empleó la misma metodología que en los dos estudios anteriores, por tanto los resultados no son comparables. Aun así, se observa un empeoramiento considerable del estado de las masas de agua, tanto empleando la metodología PONI 5 (como en los dos estudios anteriores, excepto en los valores referencia) como la PONI 11.

Los resultados que se obtienen empleando estas dos metodologías son diferentes, sobre todo en el caso de los EQR de las diversas estaciones; para los estados ecológicos de las masas de agua estas diferencias se reducen.

Siguiendo la metodología PONI 5, en los años 2017-2018 se obtuvieron 21 estaciones en estado muy bueno, lo que representa el 28 % del total; 42 en estado bueno (55 %); 8 en estado moderado (11 %); 4 en estado deficiente (5 %) y 1 en estado malo (1 %)³ (Figura 1, Tabla 4). En los estudios anteriores no se habían encontrado nunca estaciones en estado deficiente o malo. Un total de 13 estaciones están en un estado ecológico peor que bueno, incumpliendo la DMA. Estas estaciones, en orden de peor a mejor EQR (estado ecológico) son: Can Picafort (en estado malo); Port d'Alcúdia, Port d'Alcúdia Zona II, Son Serra de Marina y Cala Gamba (en estado deficiente); y S'Estanyol, Colònia de Sant Jordi, Cala Galdana, puerto de Ibiza y Cap de ses Penyes (en estado moderado).

La estación en estado malo (Can Picafort) tuvo un EQR menor que el valor de referencia pésimo, algo no permitido por la metodología PONI.³ Debemos recordar que la aplicación del PONI 5 en este estudio se realizó únicamente como herramienta comparativa y los resultados presentados por los autores son los obtenidos aplicando el PONI 11.

El número de estaciones que se encuentran en los diversos estados ecológicos fue diferente siguiendo la metodología PONI 11. Se obtuvo un total de 6 estaciones en estado muy bueno (8 %), 54 en estado bueno (71 %), 12 en estado moderado (16 %), 4 en

Masas de agua



Figura 2. Porcentaje de las masas de agua en cada uno de los diversos estados ecológicos en los diferentes estudios.¹⁻³

estado deficiente (5 %) y ninguna en estado malo³ (Figura 1, Tabla 4).

Siguiendo esta metodología se encontró un total de 16 estaciones que incumplían la DMA por hallarse en un estado ecológico peor que bueno. En este caso, las estaciones en estado deficiente fueron: Port d'Alcúdia, Port d'Alcúdia Zona II, Son Serra de Marina y Can Picafort; en estado moderado: S'Estanyol, Cala Gamba, Colònia de Sant Jordi, Cala d'Or, Son Verí, Port de Sóller, Cala Millor, Cap de ses Penyes, Portocolom, Cala Blanca, Porto Cristo y puerto de Ibiza.

Cala Galdana y Port de Maó incumplen la DMA empleando el PONI 5, pero no si se usa el PONI 11, donde se clasificarían en estado ecológico bueno. En cambio, Port de Sóller, Cala Millor, Portocolom, Cala Blanca y Porto Cristo incumplirían la DMA solo si emplea el PONI 11, y no empleando la metodología PONI 5. Por tanto, hay estaciones que incumplen la DMA empleando el PONI 11 que no la incumplen si se usa el PONI 5, y viceversa.

Estado ecológico de las masas de agua

En los años 2005-2006 casi la mitad de las masas de agua tenía un estado ecológico muy bueno (14 masas de agua, 48 %), 14 masas de agua tenían un estado ecológico bueno (48 %) y solo 1 tenía un estado ecológico moderado (4 %) (Figs. 2 y 3, Tabla 5). La masa de

agua que no cumplía la Directiva marco del agua por tener un estado ecológico peor que bueno era la de la bahía de Palma —de Cap Enderrocot a Cala Major (MAMC15M3). Hubo 3 masas de agua clasificadas en la categoría de estado bueno que se encontraban cercanas al umbral de transición a estado moderado ($EQR < 0,6$): bahía de Alcúdia, Port de Maó y de Cap de Regana a Cap Enderrocot (Figura 3, Tabla 5).²

En los años 2008-2009 se redujo el número de masas de agua en estado ecológico muy bueno, pasando de un 48 % a un 24 % (9 masas de agua). 26 masas de agua estaban en estado ecológico bueno (70 %). Hubo 2 masas de agua con un estado ecológico moderado, incumpliendo la DMA: bahía de Alcúdia y de Cala Llenya a Punta Blanca (EIMC05M3, zona de Santa Eulària, Ibiza). La masa de agua de la bahía de Palma (MAMC15M3), que había tenido un estado ecológico moderado en el estudio previo, ahora lo tenía bueno, pero cercano al umbral de la transición a moderado, por tanto requería vigilancia especial. En esta misma situación se encontraba la masa de agua de Cala Figuera a Cala Beltrán (MAMC11M3) (Figs. 2 y 4, Tabla 5).¹

Para los años 2017-2018 el número de masas de agua en cada uno de los diversos estados variaba en función de la metodología empleada—PONI 5 o PONI 11. Aun así, el número de masas de agua que incumplían la DMA (en estado moderado y deficiente) se mantenía estable independientemente del método usado.

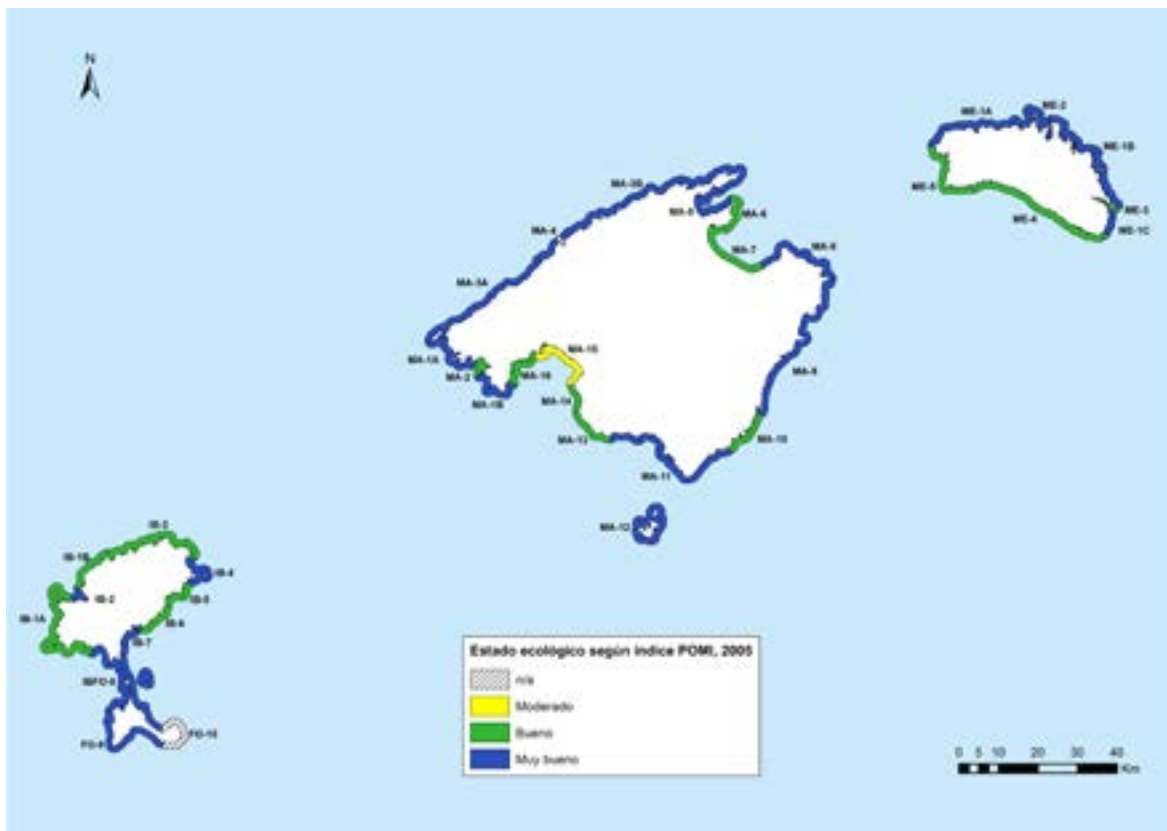


Figura 3. Estado ecológico de las masas de agua en los años 2005-2006. FUENTE: Duarte *et al.*²

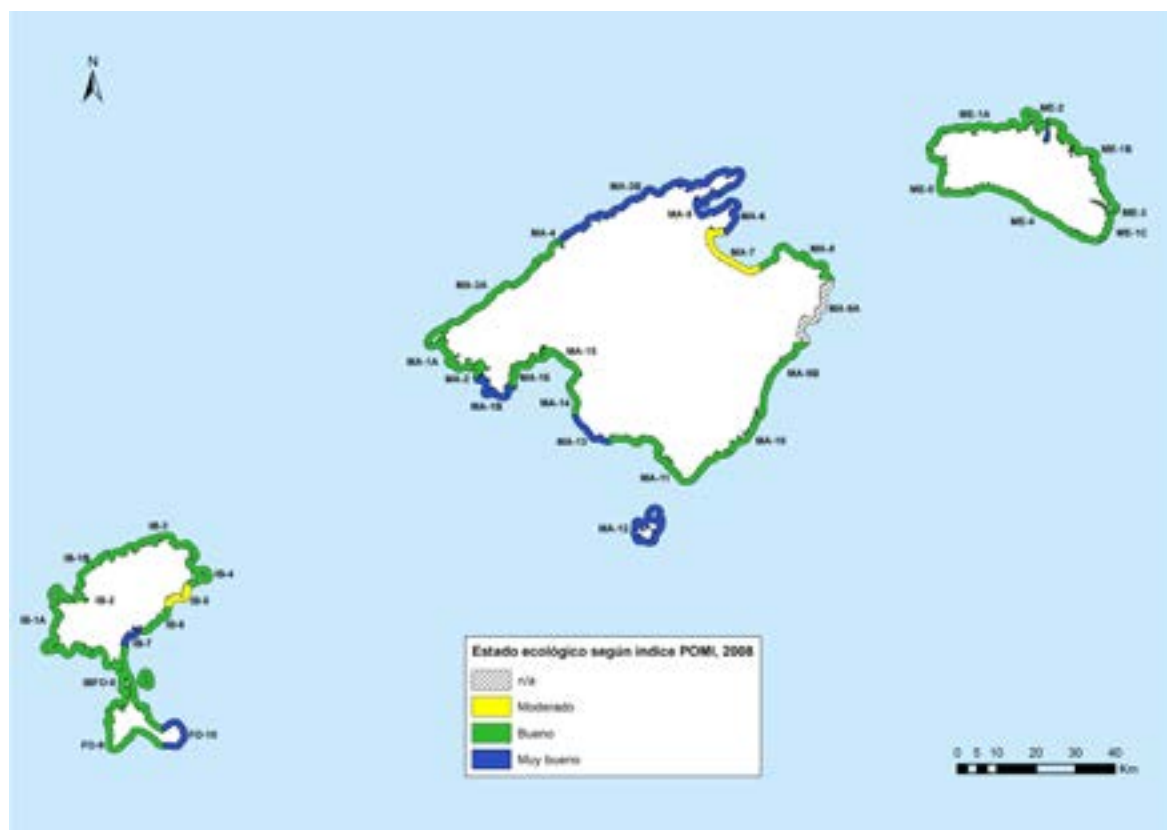


Figura 4. Estado ecológico de las masas de agua en los años 2008-2009. FUENTE: Duarte *et al.*¹

De esta manera, 2 masas de agua se encontraban en estado ecológico deficiente (6 %): bahía de Alcúdia y Port d'Alcúdia, y 4 masas de agua en estado ecológico moderado: de Cap Enderrocat a Cala Major (MAMC15M3), bahía de Sóller (MAMC04M2), de Cala Figuera a Cala Beltrán (MAMC11M3) y puerto de Ibiza (figura 5).

Si se empleaba la metodología POMI 5 había un total de 6 masas de agua en estado muy bueno (17 %); en cambio, al usar POMI 11 se reducían a 3 masas de agua (9 %). Si se empleaba el POMI 5 había un total de 23 masas de agua (66 %) en estado ecológico bueno, que aumentaba hasta 26 (74 %) con el POMI 11 (Figuras 2 y 5, Tabla 5).³

CONCLUSIONES

- En el estudio realizado en los años 2005 y 2006 casi todas las estaciones se encontraban en estado muy bueno (43,6 %) o bueno (52,7 %) y solo 2 estaciones tenían un estado moderado (3,6 %). Ello se tradujo en una única masa de agua en estado moderado: la bahía de Palma —de Cap Enderrocat a Cala Major (MAMC15M3).
- En los años 2008 y 2009 se triplicó el número de estaciones en un estado ecológico moderado y que, por tanto, incumplían la Directiva marco del

Taula 5. Valores de EQR y estado ecológico de las masas de agua según el índice POMI, que corresponden a las cinco categorías de estado ecológico propuestas por la DMA. FUENTE: Duarte *et al.*, Santandreu *et al.*¹⁻³

Masa de agua	Nombre	EQR 05/06	EQR 08/09	EQR 17/18 POMI 5	EQR 17/18 POMI 11	Estado ecológico 05/06	Estado ecológico 08/09	Estado ecológico 17/18 POMI 5	Estado ecológico 17/18 POMI 11
Port d'Alcúdia	Port d'Alcúdia			0,103	0,132			Deficiente	Deficiente
MAMC07M3	Bahía de Alcúdia	0,586	0,519	0,146	0,107	Bueno*	Moderado	Deficiente	Deficiente
MAMC15M3	Cap Enderrocat a Cala Major	0,545	0,552	0,438	0,368	Moderado	Bueno*	Moderado	Moderado
MAMC04M2	Bahía de Sóller		0,650	0,505	0,584		Bueno	Moderado	Bueno
MAMC11M3	Cala Figuera a Cala Beltran	0,812	0,563	0,510	0,526	Muy bueno	Bueno*	Moderado	Moderado
Puerto de Ibiza	Puerto de Ibiza			0,535	0,506			Moderado	Moderado
MAMC09M3	Cap de Capdepera a Portocolom	0,818	0,655	0,555	0,647	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Puerto de Palma	Puerto de Palma			0,563	0,622			Bueno	Bueno
MAMC10M2	Punta des Jonc a Cala Figuera	0,669	0,620	0,573	0,613	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MEMC05M2	Punta de na Bruna a Cap de Bajolí	0,733	0,691	0,575	0,657	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Puerto de Maó	Puerto de Maó	0,579	0,633	0,593	0,46	Bueno*	Bueno	Bueno	Moderado
MEMC04M4	Punta Prima a Punta de na Bruna	0,618	0,67	0,610	0,569	Bueno		Bueno	Bueno
EIMC05M3	Cala Llenya a Punta Blanca	0,645	0,539	0,612	0,724	Bueno	Moderado	Bueno	Bueno
MAMC08M3	Colònia de Sant Pere a Cap de Capdepera	0,834	0,751	0,612	0,736	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC03M2	Punta Negra a Illa de Formentor	0,838	0,781	0,628	0,755	Muy bueno		Bueno	Bueno
MAMC16M3	Cala Major a Cala Falcó	0,763	0,645	0,640	0,716	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
EIMC03M4	Cap des Mossons a Punta Grossa	0,711	0,651	0,643	0,633	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC02M2	Bahía de Santa Ponça	0,643	0,645	0,649	0,66	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC14M3	Cap de Regana a Cap Enderrocat	0,567	0,660	0,650	0,638	Bueno*	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC13M2	Cala Beltran a Cap de Regana	0,725	0,793	0,651	0,709	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MEMC02M3	Bahía de Fornells	0,805	0,837	0,655	0,725	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MAMC05M3	Bahía de Pollença	0,838	0,797	0,684	0,838	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno
EIMC01M2	Punta Jondal a Cap des Mossons	0,735	0,684	0,684	0,72	Bueno		Bueno	Bueno
MEMC01M2	Cap de Bajolí a Punta Prima	0,784	0,723	0,689	0,722	Muy bueno		Bueno	Bueno
MAMC01M2	Cala Falcó a Punta Negra	0,797	0,770	0,695	0,747	Muy bueno		Bueno	Bueno

Masa de agua	Nombre	EQR 05/06	EQR 08/09	EQR 17/18 POMI 5	EQR 17/18 POMI 11	Estado ecológico 05/06	Estado ecológico 08/09	Estado ecológico 17/18 POMI 5	Estado ecológico 17/18 POMI 11
EIMC07M3	Punta des Andreus a Punta de sSa Mata	0,797	0,777	0,702	0,624	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
MAMC06M2	Cap des Pinar a Illa d'Alcanada	0,744	0,831	0,703	0,722	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
FOMC09M3	Punta de sa Gavina a Punta de ses Pesqueres	0,789	0,757	0,707	0,773	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno
MAMC12M2	Cabrera	0,930	0,815	0,726	0,863	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno
EIMC06M4	Punta Blanca a Punta des Andreus	0,764	0,770	0,728	0,639	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
EFMC08M4	Freus de Ibiza y Formentera	0,901	0,758	0,733	0,836	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
Puerto de Formentera	Puerto de Formentera			0,762	0,898			Bueno	Muy bueno
EIMC02M4	Bahía de Sant Antoni	0,807	0,708	0,788	0,721	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno
EIMC04M4	Punta Grossa a Cala Llenya	0,811	0,726	0,798	0,79	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
FOMC10M2	Punta de ses Pesqueres a Punta de ses Pedreres		0,848	0,904	0,842		Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno

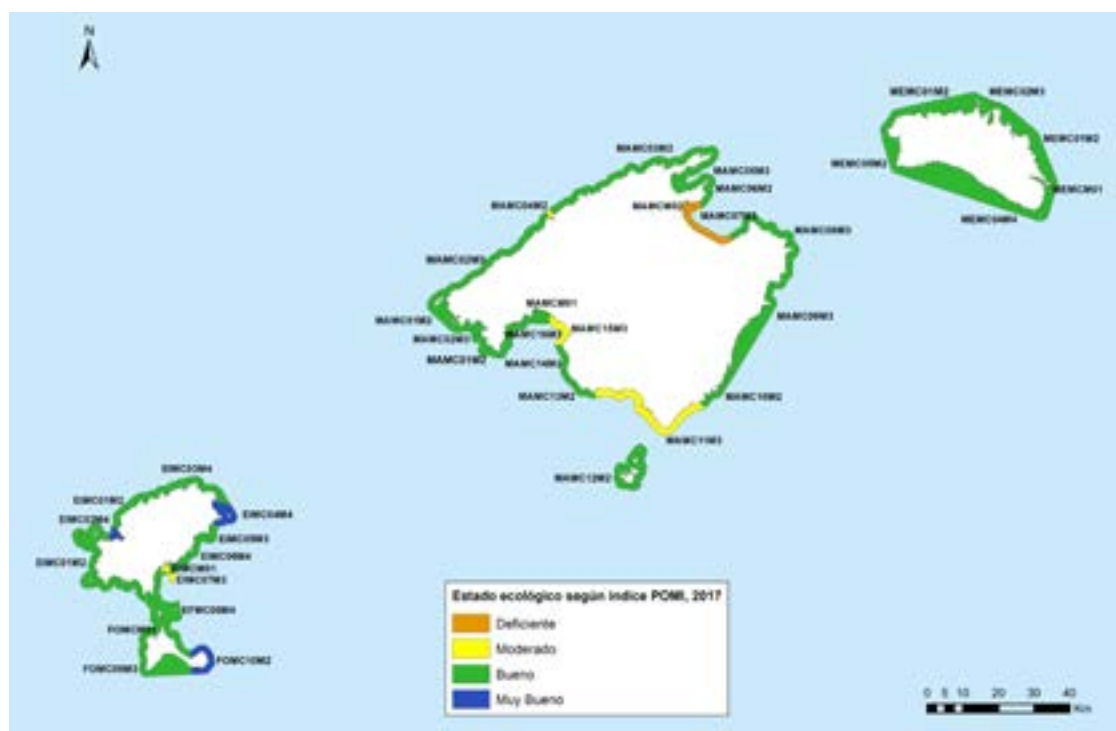


Figura 5. Estado ecológico de las masas de agua en los años 2017-2018. FUENTE: Santandreu *et al.*³

agua (Port d'Alcúdia, Cala Gamba, Can Picafort, Magaluf, Cap Negret y Santa Eulària). Así, el número de masas de agua en estado moderado pasó de 1 a 2: bahía de Alcúdia y de Cala Llenya a Punta Blanca (zona de Santa Eulària, Ibiza).

- Se han empleado diferentes metodologías para calcular los valores de referencia. Por tanto, no se pueden comparar los resultados de los estudios realizados en los años 2005-2006 y 2008-2009 con el estudio de los años 2017-2018.
- Aun así, se aprecia una disminución gradual de la calidad del agua entre los años 2005 y 2017.

En el estudio de 2017-2018 hubo 2 masas de agua en estado ecológico deficiente (6 %): bahía de Alcúdia y Port d'Alcúdia. Nunca se habían encontrado masas de agua en este estado en estudios anteriores. También se encontraron 4 masas de agua en estado ecológico moderado: de Cap Enderrocat a Cala Major, bahía de Sóller, de Cala Figuera a Cala Beltrán y puerto de Ibiza.

- Emplando *Posidonia oceanica* como indicador siguiendo las directrices de la Directiva marco del agua (DMA) se ha observado un declive gradual en la calidad de las masas de agua de las Baleares.

REFERENCIAS

- ¹ DUARTE, C. M. *et al.* (2010). «Estudi d'implementació de la directiva marc de l'aigua a Balears: Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant indicadors i índex biològics. Element biològic de qualitat: *Posidonia oceanica*. 2008-2009». Palma: Agència Balear de l'Aigua i de la Qualitat Ambiental de la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.
- ² DUARTE, C. M. *et al.* (2007). «Estudi d'implementació de la directiva marc de l'aigua a Balears: Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant indicadors i índex biològics. Element biològic de qualitat: *Posidonia oceanica*». Palma: Agència Balear de l'Aigua i de la Qualitat Ambiental de la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears.
- ³ SANTANDREU, M. M. *et al.* (2019). «Monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de las masas de aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears utilizando el elemento biológico de calidad *Posidonia oceanica*. 2017» [Informe técnico]. FOA Ambiental S.L.-Centre Balear de Biologia Aplicada; Direcció General de Recursos Hídrics del Govern de les Illes Balears.
- ⁴ ROMERO, J. *et al.* (2007). «A multivariate index based on the seagrass *Posidonia oceanica* (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the water framework directive (WFD)». *Marine Pollution Bulletin*, 55, 196-204. DOI:10.1016/j.marpolbul.2006.08.032.
- ⁵ ROMERO, J. En: *International Workshop on Posidonia Beds: the Second International Workshop on Posidonia Oceanica Beds, Ischia, Italie, 7-11 October 1985*. Charles-François Boudouresque (ed.). Marsella (Francia): GIS Posidonie.
- ⁶ CALLEJA, M. L.; MARBÀ, N.; DUARTE, C. M. (2007). «The relationship between seagrass (*Posidonia oceanica*) decline and sulfide porewater concentration in carbonate sediments». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73, 583-588.
- ⁷ GARCIA, R. *et al.* (2012). «Warming enhances sulphide stress of Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*)». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 240-247. DOI:10.1016/j.ecss.2012.08.010.
- ⁸ BENNETT, S. *et al.* (2011). «Ecological status of seagrass ecosystems: An uncertainty analysis of the meadow classification based on the *Posidonia oceanica* multivariate index (POMI)». *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1616-1621. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.06.016.

CITAR COMO

Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N.; Martino, S.; Reviriego, B.; Santandreu, M. (2021) «Índice Multivariante *Posidonia oceanica* (POMI)». En: Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N. (ed.). *Informe Mar Balear 2021*. <https://www.informemarbalelear.org/es/calidad-agua/imb-pomi-esp_2021.pdf>. <https://doi.org/10.62135/HOIS8317>.