

**Cálculo de límites de
clase de estado para
nutrientes en aguas de
transición y costeras de la
Demarcación Hidrográfica
del Cantábrico Oriental.**

AZTI

TIPO DE DOCUMENTO: Informe.

TÍTULO DEL DOCUMENTO: Cálculo de límites de clase de estado para nutrientes en aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

ELABORADO POR: AZTI.

AUTORES: José Germán Rodríguez, Juan Bald, Ángel Borja, Almudena Fontán, Javier Franco, Joana Larreta, Marta Revilla, Oihana Solaun.

FECHA: abril 2021.

Índice

Cálculo de límites de clase de estado para nutrientes en aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

1. Antecedentes	4
2. Objetivos	7
3. Diseño del trabajo	8
4. Resultados	10
4.1. Análisis exploratorio	10
4.2. Análisis de regresión LOESS	15
4.3. Análisis de regresión por cuantiles	23
4.4. Minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (" <i>minimisation of mismatch</i> ").	25
4.5. Evaluación de los resultados obtenidos.....	27
4.5.1. Fosfato	27
4.5.2. Nitrato	29
4.5.3. Amonio	31
5. Comparación con otros ámbitos geográficos	34
5.1. Ámbito del Golfo de Bizkaia y Galicia	35
5.2. Ámbito de las aguas templadas del Atlántico nordeste.....	36
5.3. Coherencia de los límites con los de ríos de la de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental	39
6. Resumen	40
7. Conclusiones	42
8. Anexos	44
8.1. Anexo I: Regresiones de cuantiles	44
8.2. Anexo II: Minimización del desajuste entre clasificaciones	75

1.

Antecedentes

La 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, también denominada Directiva Marco del Agua (en adelante DMA) supuso una profunda y sustancial reforma de la legislación europea en materia de aguas.

Unos de los aspectos cruciales de la implementación de la DMA es la evaluación del estado de las masas de agua. Según la DMA para la evaluación del estado ecológico de las masas de agua se deben tener en cuenta elementos de calidad biológicos, elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos y elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos.

El componente con mayor “peso” en la determinación del estado ecológico son los elementos biológicos, mientras que los elementos de calidad fisicoquímicos participan en la discriminación entre estados Muy bueno y Bueno, y entre Bueno y Moderado.

A pesar de este menor “peso” de los indicadores fisicoquímicos e hidromorfológicos respecto a los indicadores biológicos, el principio de “*el peor de los estados de cada uno de los indicadores*” implica que conviene contemplar y aplicar los indicadores no biológicos con buen criterio, ya que de lo contrario podrían establecerse clasificaciones erróneas.

Según los artículos 12 y 13 del 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, para las masas de agua de transición y costeras los elementos de calidad fisicoquímicos son la transparencia, las condiciones térmicas y de oxigenación, salinidad y nutrientes, así como la contaminación producida por algunos contaminantes si se vierten en cantidades significativas.

Con respecto a los nutrientes, la DMA establece que, para conseguir el buen estado ecológico, las concentraciones de tales sustancias no deben superar los niveles que aseguren el buen funcionamiento de los ecosistemas y el cumplimiento de los valores correspondientes de los elementos de calidad biológicos.

Son los países miembros quienes tienen la responsabilidad de establecer los niveles de nutrientes que permitan la consecución del buen estado ecológico (aunque en el caso de masas de agua transfronterizas es necesaria la colaboración internacional).

La Agencia Vasca del Agua es competente en la evaluación del estado de las masas de agua de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Por tanto, resulta de interés disponer de sistemas de monitoreo y evaluación que sean coherentes con las definiciones normativas de la DMA y que permitan determinar el estado de estas masas de agua con alto grado de certidumbre.

Un aspecto clave para la evaluación del estado de las masas de agua radica en los límites de cambio de clase, especialmente el límite “Bueno/Moderado” (B/Mo) puesto que es el que determina el cumplimiento de objetivos medioambientales y la necesidad o no de implementar medidas correctoras.

En el Plan Hidrológico vigente ¹, concretamente en el apéndice 3 “Indicadores y límites de cambio de clase para los elementos de calidad de masas de agua superficial naturales”, se establecen límites entre clases de estado para indicadores fisicoquímicos en masas de agua de la categoría aguas de transición y aguas costeras (Tabla 1) como complemento a lo dispuesto en los apartados D y E del 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.

Tabla 1 Anexo I. Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (2015 2021). Tabla del apéndice 3 “Indicadores y límites de cambio de clase para los elementos de calidad de masas de agua superficial naturales” de aplicación a aguas de transición y costeras.

Categoría	Tipo	Tramo (salinidad)	Indicador	Unidades	Condición específica del tipo	Límites de cambio de clase de estado (Medida)	
						Muy Bueno /Bueno	Bueno/ Moderado
Aguas de transición	AT-T08, AT-T09 y AT-T10	0-5	Tasa de saturación de oxígeno	%	81,57	79	66
			Amonio	µmol/l	5,69	≤12,5	≤28
			Nitrato	µmol/l	78,71	≤80	≤132
			Fosfato	µmol/l	1,29	≤2,30	≤6,2
		5-18	Tasa de saturación de oxígeno	%	86,57	82	71
			Amonio	µmol/l	4,69	≤11	≤22
			Nitrato	µmol/l	58,71	≤61	≤98
			Fosfato	µmol/l	1,06	≤1,80	≤4,7
		18-30	Tasa de saturación de oxígeno	%	93,71	88	79
			Amonio	µmol/l	3,26	≤7	≤14
			Nitrato	µmol/l	30,14	≤33	≤50
			Fosfato	µmol/l	0,73	≤1,00	≤2,5
		30-34	Tasa de saturación de oxígeno	%	98,28	92	83
			Amonio	µmol/l	2,34	≤5	≤9
			Nitrato	µmol/l	11,86	≤15	≤18
			Fosfato	µmol/l	0,52	≤0,60	≤1,1
Aguas costeras	AC-T12	>34	Tasa de saturación de oxígeno	%	99,71	95	85
			Amonio	µmol/l	2,06	≤3,5	≤7
			Nitrato	µmol/l	6,14	≤7	≤8
			Fosfato	µmol/l	0,45	≤0,55	≤0,7

Los límites de clase para nutrientes de la Tabla 1 se establecieron con el siguiente procedimiento recogido en Bald et al. (2005). En primer lugar, se estimaron las condiciones de referencia de muy buen y mal estado fisicoquímico para los nutrientes en las condiciones de 100% agua dulce y 100% agua de mar. Posteriormente, estos valores se modularon de acuerdo con el patrón de dilución de la salinidad en las aguas de transición y en las zonas costeras. Con el objetivo de ajustar los valores a los diferentes tramos de salinidad, se llevó a cabo el cálculo de las rectas de dilución para cada valor de las condiciones de

¹ Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. Anexo I. Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (2015 2021)

referencia (muy buen y mal estado fisicoquímico) en función de los valores de salinidad.

Por último, con las rectas de dilución definidas, se llevó a cabo el cálculo de los nuevos valores de nutrientes para cada condición de referencia y para cada uno de los tramos salinos, de acuerdo con los siguientes valores medios de salinidad para cada tramo: 2,75 para el tramo oligohalino; 11,50 para el tramo mesohalino; 24,00 para el tramo polihalino; 32 para el tramo euhalino y 34,5 para el tramo euhalino mar.

Tabla 2 Valores de los nutrientes para cada una de las referencias de muy buen y mal estado fisicoquímico para cada tramo salino.

	Tramo salino (salinidad)	Amonio (μmol/l)	Nitrato (μmol/l)	Fosfato (μmol/l)
Condiciones de referencia de Muy Buen estado	Oligohalino (0-5 USP)	5,69	78,71	1,29
	Mesohalino (5-18 USP)	4,69	58,71	1,06
	Polihalino (18-30 USP)	3,26	30,14	0,73
	Euhalino (30-34 USP)	2,34	11,86	0,52
	Costa (>34 USP)	2,06	6,14	0,45
Condiciones de referencia de Muy Mal estado	Oligohalino (0-5 USP)	63,41	218,93	14,13
	Mesohalino (5-18 USP)	50,41	163,03	10,58
	Polihalino (18-30 USP)	31,84	83,17	5,51
	Euhalino (30-34 USP)	19,96	32,06	2,27
	Costa (>34 USP)	16,24	16,09	1,25

La Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo, sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas define "Eutrofización" como: "El aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y/o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta". Por tanto, los límites de cambio de clase de los nutrientes son relevantes en la evaluación de la sensibilidad de las masas de agua a la eutrofización tal y como lo requiere la Directiva 91/271/CEE.

La metodología en la que se basa la evaluación de la sensibilidad a la eutrofización de las aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (Borja et al., 2009; Revilla et al., 2011, 2017) tiene en cuenta de manera prioritaria el cumplimiento de los objetivos de calidad por parte de la clorofila y el oxígeno (indicadores de impacto). Pero también se emplean otros criterios como el tiempo de residencia del agua, su capacidad para diluir los aportes, la presión por nutrientes y el Programa de Medidas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

En cuanto a la presión, se tienen en cuenta varias líneas de evidencia, entre las que se incluyen las concentraciones de nutrientes (amonio, nitrato y fosfato). En este sentido el umbral "Muy bueno/Bueno" y, especialmente, el "Bueno/Moderado" de los nutrientes, influyen en la clasificación como zona "sensible".

Por todo lo anterior, el establecimiento de límites de clase de estado de nutrientes adecuados es crucial para la evaluación del estado de las masas de agua y de su sensibilidad a la eutrofización.

2.

Objetivos

La Agencia Vasca del Agua, en el marco de la novena prórroga del Convenio de Colaboración entre la Agencia Vasca del Agua y la Fundación AZTI Fundazioa, suscrito con fecha 7 de octubre de 2008, trasladó a AZTI su interés en evaluar si son adecuados los límites entre clases de estado actualmente vigentes para los nutrientes en las aguas de transición y costeras de la Tabla 1. Por ello se planteó este estudio como parte de la actividad denominada “Apoyo y asesoría en materia de aguas de transición y costeras durante el tercer ciclo de planificación hidrológica”.

Tal y como ha sido señalado por diversos autores (Phillips & Pitt, 2015; Dworak et al., 2016), los niveles de nutrientes establecidos por los diferentes países para la evaluación del estado abarcan un rango muy amplio de concentraciones. Una parte de esta variabilidad puede deberse a diferencias entre los países miembros en los valores de fondo y en la sensibilidad de las masas de agua al enriquecimiento de nutrientes. Pero también podría deberse al empleo de distintos métodos para establecer los niveles de referencia y a diferentes sistemas normativos.

En el marco de la Estrategia Común de Implementación de la DMA, se publicó un documento técnico titulado “*Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status*” (Phillips et al., 2018)) que tiene como objetivo poner a disposición de los estados miembros diferentes opciones metodológicas para el establecimiento de límites de clase de las concentraciones de nutrientes que permitan la consecución de dicho buen estado ecológico.

La idea subyacente en la aproximación metodológica de dicha guía es que el estado fisicoquímico en base a los nutrientes y el estado ecológico determinado por el elemento biológico fitoplancton deben mostrar coherencia.

El objetivo de este trabajo es estudiar, en las aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, las relaciones entre las concentraciones de nutrientes y de clorofila-a (como indicador del elemento biológico fitoplancton) para determinar límites de cambio de clase de estado de nutrientes adecuados y coherentes con las definiciones normativas de la DMA, todo ello tomando la metodología del documento “*Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status*” (Phillips et al., 2018).

3.

Diseño del trabajo

Cuando se quiere modelizar la relación entre nutrientes y clorofila-a se debe definir exactamente cómo se parametrizan.

El Real Decreto 817/2015 establece que para la evaluación del elemento fitoplancton, tanto en aguas costeras (Anejo 2.E) como de transición (Anejo 2.D), debe utilizarse el percentil 90 de la clorofila-a. Dicha métrica se evalúa en cada una de las estaciones de muestreo utilizando únicamente datos de aguas de superficie (0-1 m). Los datos abarcan periodos de seis años que comprenden el año al cual corresponde la evaluación y los cinco años previos (Revilla et al., 2014). Los límites de cambio de clase de estado asociados a esta métrica están definidos en el ejercicio europeo de intercalibración² (Devlin et al., 2016, 2017).

Con respecto a los nutrientes, por analogía con la clorofila-a, se ha optado por la media aritmética de periodos de seis años, que también comprenden el año de evaluación y los cinco años previos.

Con objeto, de simplificar el lenguaje en este documento, se utilizará 'clorofila-a' y 'nutrientes' para referirse al percentil 90 y media de estas variables, respectivamente

Para facilitar los procedimientos estadísticos planteados en el documento "*Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status*" (Phillips et al. (2018) para el cálculo de límites de clase, los autores proporcionan una herramienta en Excel y en lenguaje de programación R y un software online (Várbíró et al., 2018). La versión de archivo Excel utilizada en este informe es la v6d (15/10/2018). El acceso al software *online* se hizo en las fechas del 18 al 20 de noviembre de 2019.

Los procedimientos estadísticos que se han tenido en cuenta son:

- Regresiones lineales log-log, es decir, entre el logaritmo decimal de las medias de seis años de la concentración de nutrientes y el logaritmo decimal del percentil 90 de seis años de la concentración de clorofila-a.
- Regresiones lineales múltiples con el logaritmo del percentil 90 de la concentración de clorofila-a como variable dependiente y la concentración media de cada nutriente y la salinidad media como variables independientes.

² Decisión de la Comisión de 12 de febrero de 2018 por la que se fijan, de conformidad con la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, los valores de las clasificaciones de los sistemas de seguimiento de los Estados miembros a raíz del ejercicio de intercalibración, y por la que se deroga la Decisión 2013/480/UE

- Ajuste mediante modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) con el logaritmo decimal del percentil 90 de la concentración de clorofila-a como variable dependiente y el logaritmo decimal de la concentración media de cada nutriente y el tramo salino como variables independientes (el tramo salino se incorpora al modelo como factor).
- Análisis de regresión LOESS (del inglés, *Locally Estimated Scatterplot Smoothing*), que combina la regresión lineal y la regresión no lineal, permitiendo el ajuste más flexible de la información observada. El análisis de regresión LOESS fue realizado para todo el conjunto de datos (esto, es no se segmentó por tipo de estación) con el software Grapher v13, utilizando ajuste de familia simétrica, por ser menos sensible a los “outliers” (valores extremos).
- Análisis de regresión por cuantiles (o regresión cuantílica). El análisis de regresión por cuantiles fue realizado para todo el conjunto de datos (no se segmentó por tipo de estación).
- Minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (*minimisation of mismatch*).

4.

Resultados

4.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

Phillips et al. (2018) y Salas Herrero et al. (2019) plantean un conjunto de procedimientos estadísticos para la exploración de la información y el cálculo de límites de clase para nutrientes. Estos procedimientos se basan en que exista una relación entre un indicador de estado biológico y la concentración de nutrientes. Esta relación puede basarse, por ejemplo, en gradientes ambientales o en variabilidad temporal. Si no se observa una relación entre la concentración de nutrientes y el indicador del estado biológico no es viable el cálculo de límites de clase.

A partir de los datos históricos de clorofila-a y nutrientes de la “Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la Comunidad Autónoma del País Vasco” se exploró, de forma individual, estación por estación, la relación temporal entre clorofila-a y nutrientes.

En algunas estaciones se observó relación clara, durante parte del periodo, entre clorofila-a y alguno de los nutrientes. Sin embargo, el número de datos total era claramente insuficiente para poder realizar el cálculo de límites de clase. Así pues, la opción de buscar una relación temporal en un subgrupo de estaciones fue descartada.

Posteriormente se optó por hacer exploración global, esto es, sin descartar ninguna estación, e incluyendo también las estaciones de referencia L-REF10, L-REF20 y L-REF30. De forma global se observó relación positiva entre el contenido en clorofila-a y la concentración de amonio, de nitrato y de fosfato. Esta relación global incluye, por tanto, variabilidad espacial y variabilidad temporal.

Dentro del conjunto de procedimientos estadísticos planteados por Phillips et al. (2018), inicialmente se utilizaron regresiones lineales log-log, es decir, entre el logaritmo decimal de las medias de seis años de la concentración de nutrientes y el logaritmo decimal del percentil 90 de seis años de la concentración de clorofila-a. Los resultados indicaron un bajo grado de ajuste y por lo tanto fueron descartados para este estudio.

Adicionalmente se hicieron regresiones lineales múltiples con el logaritmo del percentil 90 de la concentración de clorofila-a como variable dependiente y la concentración media de cada nutriente y la salinidad media como variables independientes. Aunque el grado de ajuste se incrementó con respecto a las regresiones lineales simples, fue insuficiente para poder permitir el cálculo de los límites de clase.

También se realizó ajuste mediante modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) con el logaritmo decimal del percentil 90 de la concentración de clorofila-a como variable dependiente y el logaritmo decimal de la concentración media de cada nutriente y el tramo salino como variables

independientes (el tramo salino se incorpora al modelo como factor). También en este caso el ajuste fue insuficiente para poder permitir el cálculo de límites de clase coherentes con relación a la variabilidad observada.

En la Figura 1, Figura 2 y Figura 3 se representan el percentil 90 de la concentración de clorofila-a (periodo de seis años) y la media (seis años) de la concentración de nutrientes. De forma global, se observa un incremento en la concentración de clorofila-a con el incremento de la concentración de nutrientes. Las menores concentraciones de clorofila-a y nutrientes normalmente corresponden a estaciones localizadas en tramo euhalino (litoral) y las mayores concentraciones en estaciones localizadas en tramo oligohalino.

En la Figura 4, Figura 5 y Figura 6 se muestran las mismas figuras anteriores, pero diferenciando los datos por tramos salinos. Se puede observar que existen varios puntos correspondientes a estaciones de tramo oligohalino que se alejan de la nube principal de datos. Para explorar si la relación entre clorofila-a y nutrientes de las estaciones de tramo oligohalino pueden diferir de la relación global, se realizaron regresiones tipo LOESS segmentado los datos entre los pertenecientes a estaciones de tramo oligohalino y los datos no pertenecientes al tramo oligohalino (Figura 7, Figura 8 y Figura 9). Al segmentar la información, el número de datos de estaciones de tramo oligohalino se reduce notablemente, por lo que los resultados de regresión tipo LOESS deben considerarse con precaución, ya que es un tipo de regresión no adecuada para conjuntos con pocos datos.

En el caso de la relación entre la concentración de fosfato y la de clorofila-a se observa que, en general, a similar nivel del nutriente, se alcanzan concentraciones de clorofila-a superiores en el tramo oligohalino (Figura 7). Sin embargo, existe bastante solapamiento entre la distribución de los datos en gran parte del rango de nutriente observado, a excepción de los valores de clorofila-a más elevados, que corresponden a la estación E-OK5 (zona interior del estuario del Oka).

En el caso de la relación entre la concentración de amonio y la de clorofila-a se observa una relación similar a la descrita para el fosfato, destacando también los elevados valores de clorofila-a en la estación E-OK5 (Figura 9). En el caso de la relación entre la concentración de nitrato y la de clorofila-a se observa una relación distinta a la descrita para el fosfato o amonio, ya que existe bastante solapamiento entre ambos grupos de datos (de tramo oligohalino y de tramo no oligohalino) en las concentraciones de nutrientes más elevadas (a excepción de la estación E-U5). En este caso, los elevados valores de clorofila-a en la estación E-OK5 no corresponden con los máximos observados de nitrato (Figura 8).

Por lo tanto, aunque existen evidencias de que, en promedio, en las estaciones oligohalinas se observan mayores concentraciones de clorofila-a a similares niveles de nutrientes, en los análisis de regresiones (LOESS, y de cuantiles) se optó por hacerlos sin segmentar la información.

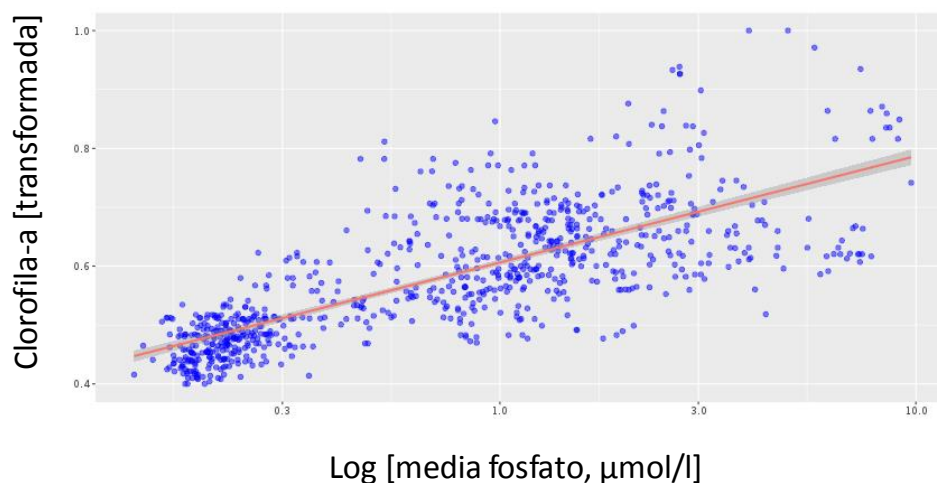


Figura 1 Relación entre la concentración de fosfato, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y ($\mu\text{g/l}$, transformada logarítmicamente y ajustada al rango de 0,4-1).

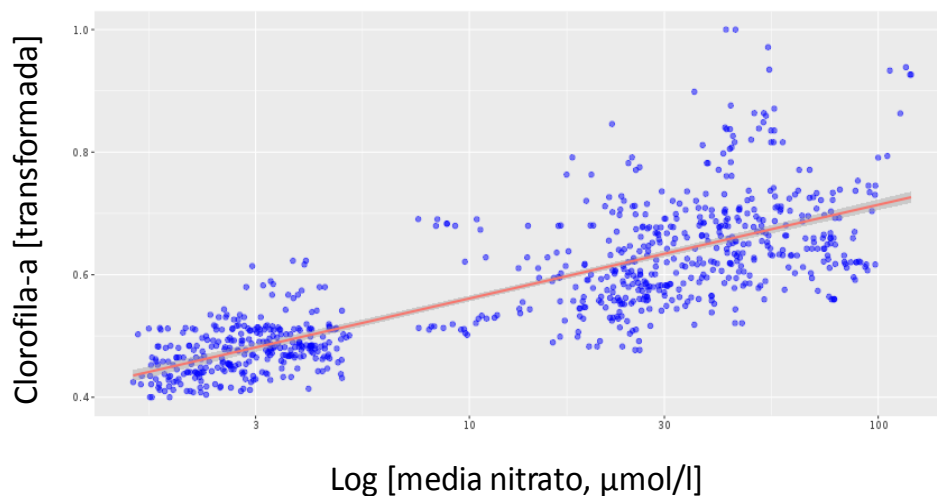


Figura 2 Relación entre la concentración de nitrato, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y ($\mu\text{g/l}$, transformada logarítmicamente y ajustada a un rango de 0,4-1).

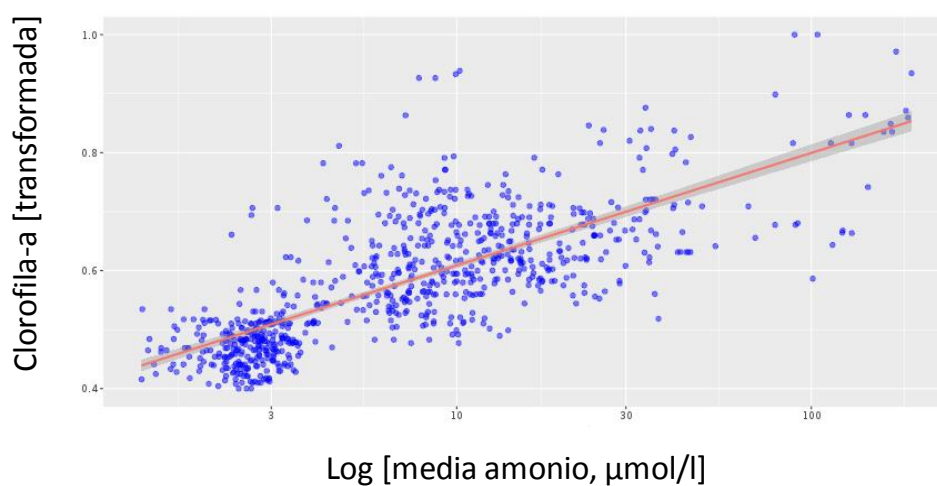


Figura 3 Relación entre la concentración de amonio, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y ($\mu\text{g/l}$, transformada logarítmicamente y ajustada al rango de 0,4-1).

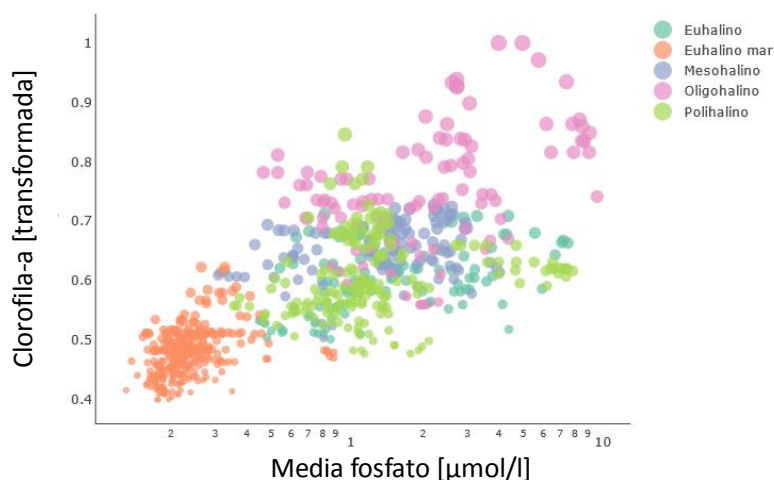


Figura 4 Relación entre la concentración de fosfato, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (transformada logarítmicamente desde concentraciones en $\mu\text{g/l}$ y ajustada a un rango de 0,4-1).

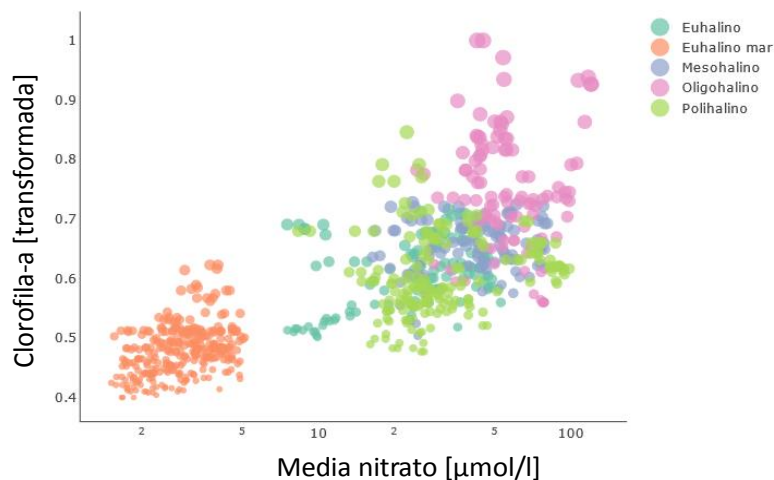


Figura 5 Relación entre la concentración de nitrato, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (transformada logarítmicamente desde concentraciones en $\mu\text{g/l}$ y ajustada a un rango de 0,4-1).

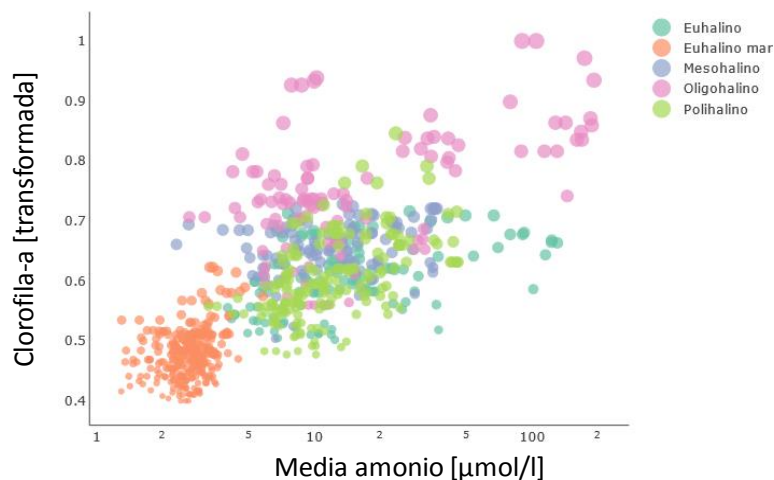


Figura 6 Relación entre la concentración de amonio, en el eje X ($\mu\text{mol/l}$, escala logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (transformada logarítmicamente desde concentraciones en $\mu\text{g/l}$ y ajustada a un rango de 0,4-1).

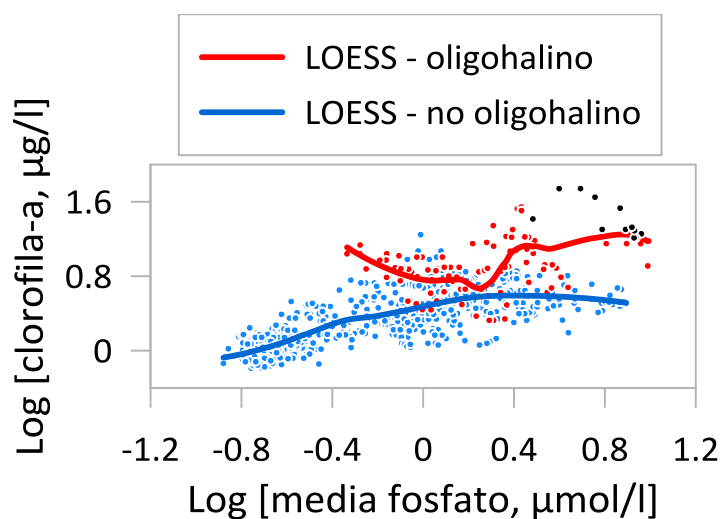


Figura 7 Relación entre la concentración de fosfato (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a (con transformación logarítmica). En color negro se señalan los datos de la estación E-OK5 (del tramo oligohalino).

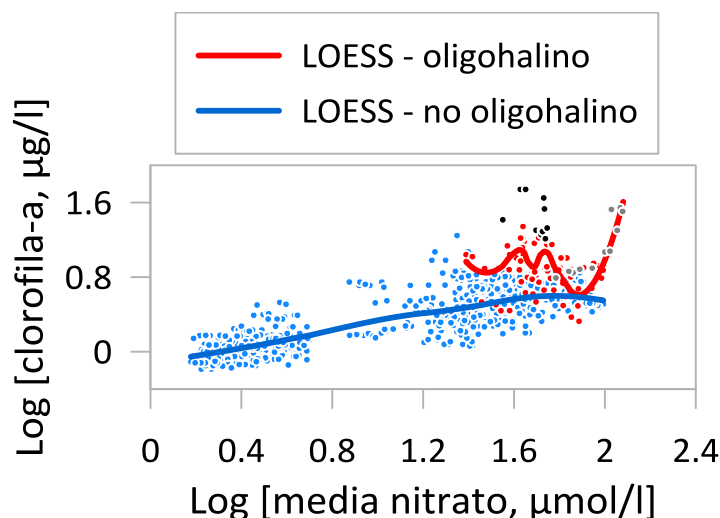


Figura 8 Relación entre la concentración de nitrato (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a (con transformación logarítmica). En color negro se señalan los datos de la estación E-OK5 y en color gris la estación E-U5 (ambas de tramo oligohalino).

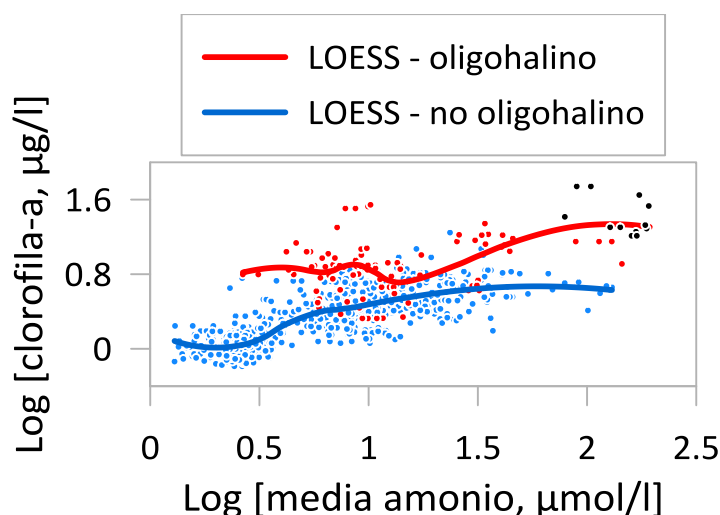


Figura 9 Relación entre la concentración de amonio (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a (con transformación logarítmica). En color negro se señalan los datos de la estación E-OK5 (del tramo oligohalino).

4.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LOESS

El **Análisis de regresión LOESS** (del inglés, *Locally Estimated Scatterplot Smoothing*) combina la regresión lineal y la regresión no lineal, permitiendo el ajuste más flexible de la información observada. Para que el ajuste sea adecuado debe de estar respaldada por un elevado número de datos. Esto implica que los ajustes resultantes de zonas con baja densidad de datos deben considerarse con precaución. El análisis de regresión LOESS tiene como limitación que con el mismo conjunto de datos de origen se pueden tener distintos ajustes, es decir, no existe una solución única.

En la Figura 10 se representa el cálculo de los límites de clase “Bueno/Moderado” (B/Mo) y “Muy bueno/Bueno” (MB/B) para la concentración de fosfato a partir de los límites B/Mo y MB/B de clorofila-a, respectivamente, para el tramo de salinidad euhalino mar. El cálculo se realiza en el cruce del ajuste LOESS con el límite de clase de clorofila-a (en el caso de que haya varios cruces, se extrae como límite el cruce realizado a menor concentración de nutriente).

De forma similar, en las figuras siguientes se representa el cálculo de límites de clase para el resto de los tramos de salinidad (Figura 11 a Figura 14) y para nitrato (Figura 15 a Figura 19) y amonio (Figura 20 a Figura 24).

Como ya se ha mencionado, el ajuste LOESS es adecuado cuanto está respaldado por una elevada densidad de datos. En este sentido se observa que los límites B/Mo de fosfato en los tramos polihalino (Figura 12), mesohalino (Figura 13) y oligohalino (Figura 14) se localizan en una zona de la regresión LOESS respaldada por pocos datos. Por ello, los valores calculados en estas condiciones deben tomarse con precaución. También se observa esta limitación en las regresiones realizadas con otros nutrientes y se señalan en la Tabla 3.

Tabla 3 Límites de clase para nutrientes ($\mu\text{mol/l}$) calculados a partir de regresión LOESS con la concentración de clorofila-a. Límite MB/B: límite “Muy bueno/Bueno”; límite B/Mo: límite “Bueno/Moderado”. Con asterisco se señalan valores calculados con poca densidad de datos.

Tramo salino	Límite MB/B Fosfato	Límite B/Mo Fosfato	Límite MB/B Amonio	Límite B/Mo Amonio	Límite MB/B Nitrato	Límite B/Mo Nitrato
Oligohalino	7,69*	9,84*	61,1*	134,0*	93,3*	108,4*
Mesohalino	6,75*	9,08*	39,0*	104,2*	85,4	103,3*
Polihalino	1,10	7,70*	9,9	61,0*	29,9	93,3*
Euhalino	0,43	1,30	4,6	19,1	9,1*	37,2
Euhalino mar	0,31	0,95	3,7	7,9	6,5*	26,3

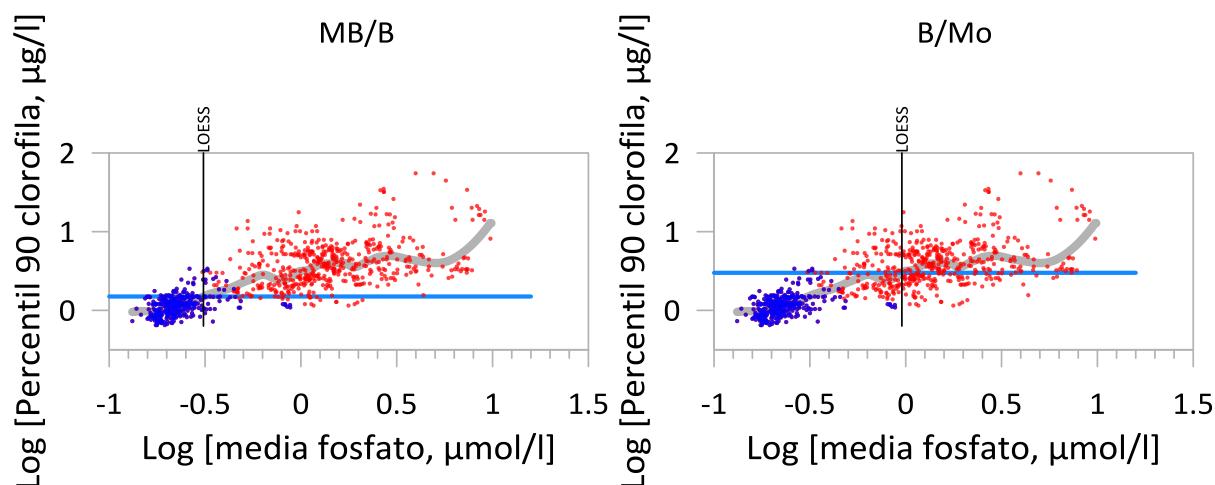


Figura 10 Relación entre la concentración de **fósforo**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino mar**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0,2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,57; $P<0,0001$.

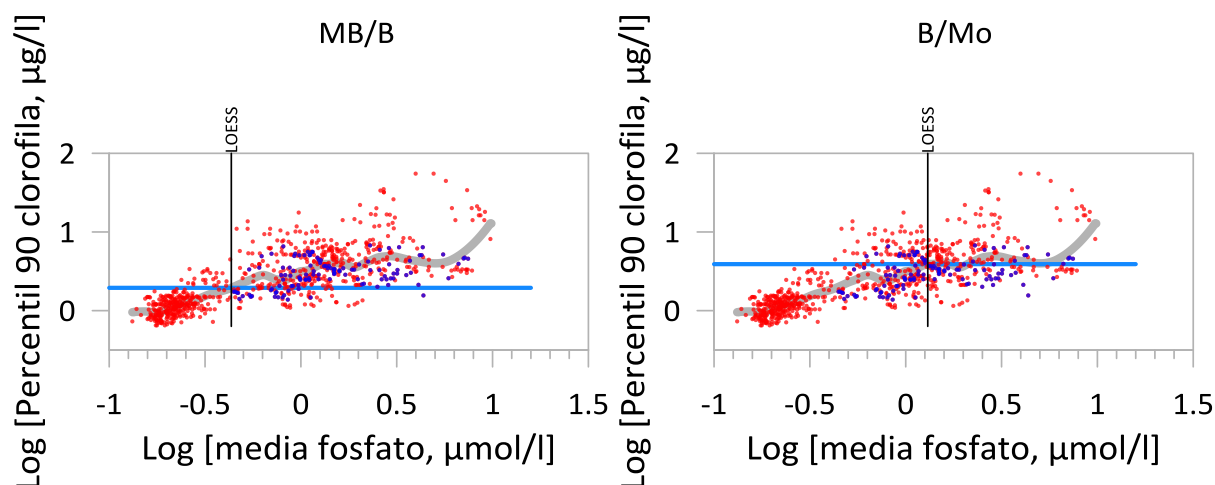


Figura 11 Relación entre la concentración de **fósforo**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0,2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,57; $P<0,0001$.

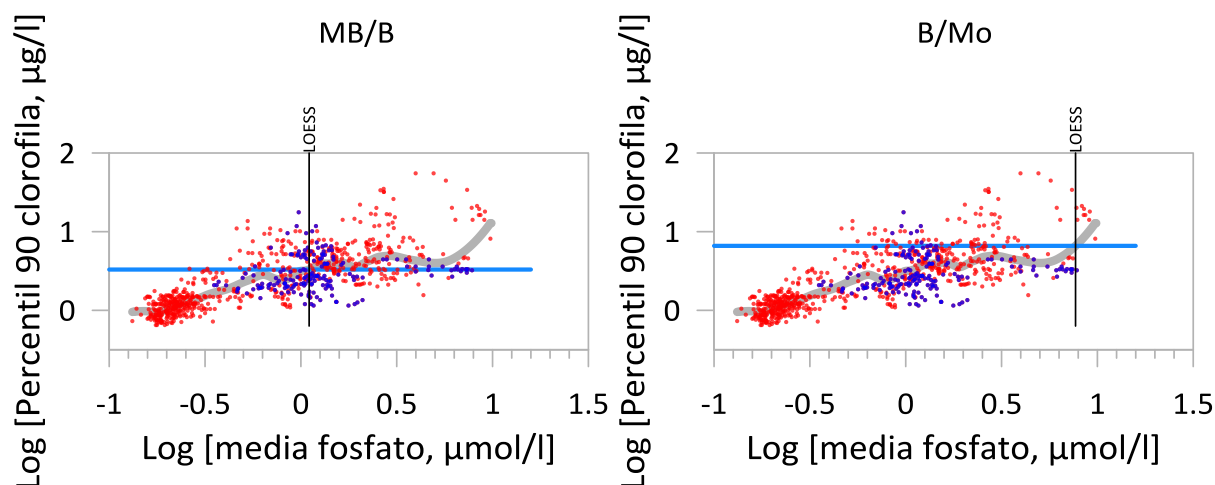


Figura 12 Relación entre la concentración de **fósforo**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **polihalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,57; $P < 0,0001$.

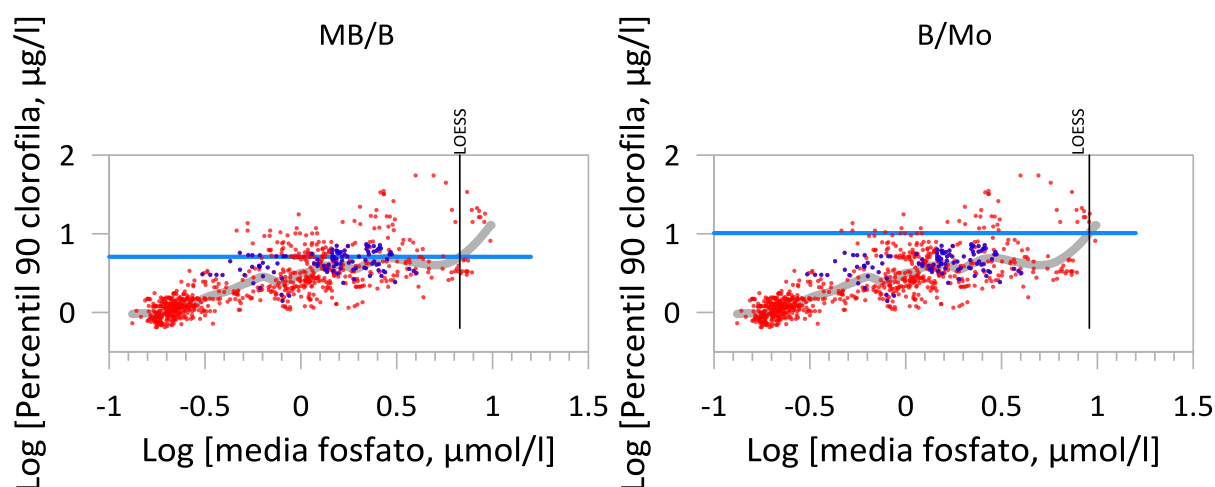


Figura 13 Relación entre la concentración de **fósforo**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **mesohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,57; $P < 0,0001$.

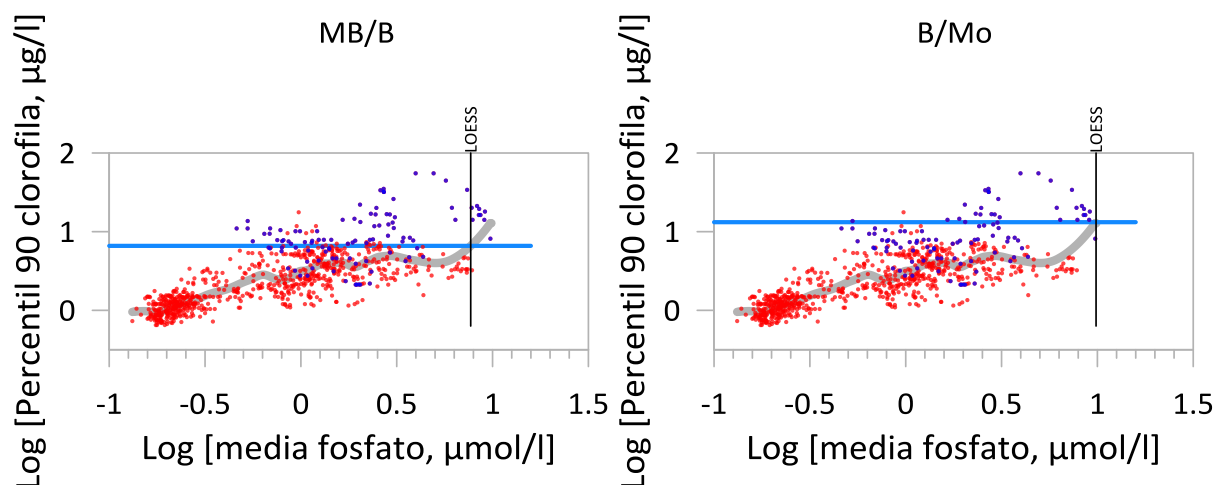


Figura 14 Relación entre la concentración de **fosfato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **oligohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,57; $P < 0,0001$.

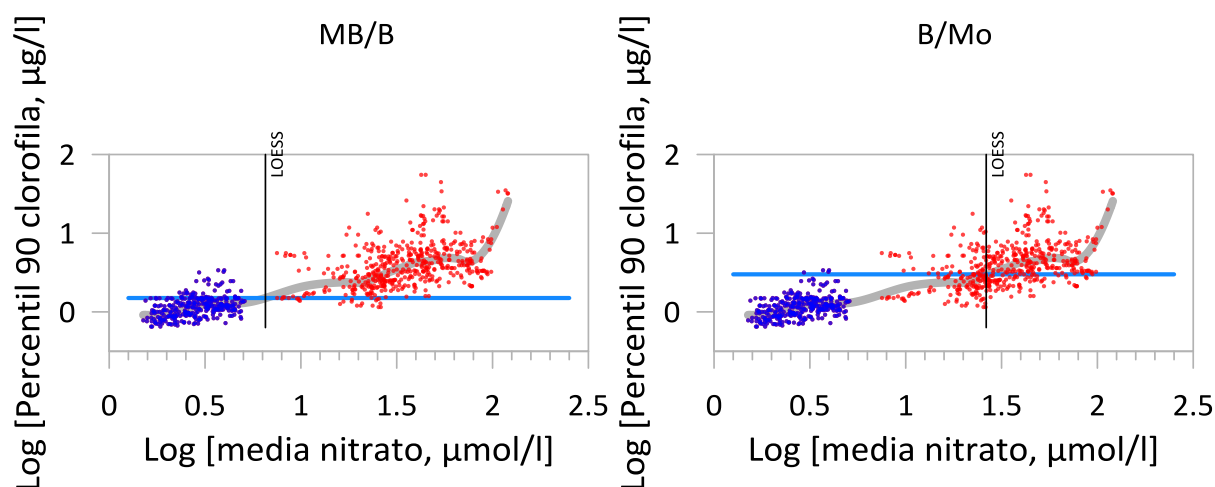


Figura 15 Relación entre la concentración de **nitrato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino mar**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0,25; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,62; $P < 0,0001$.

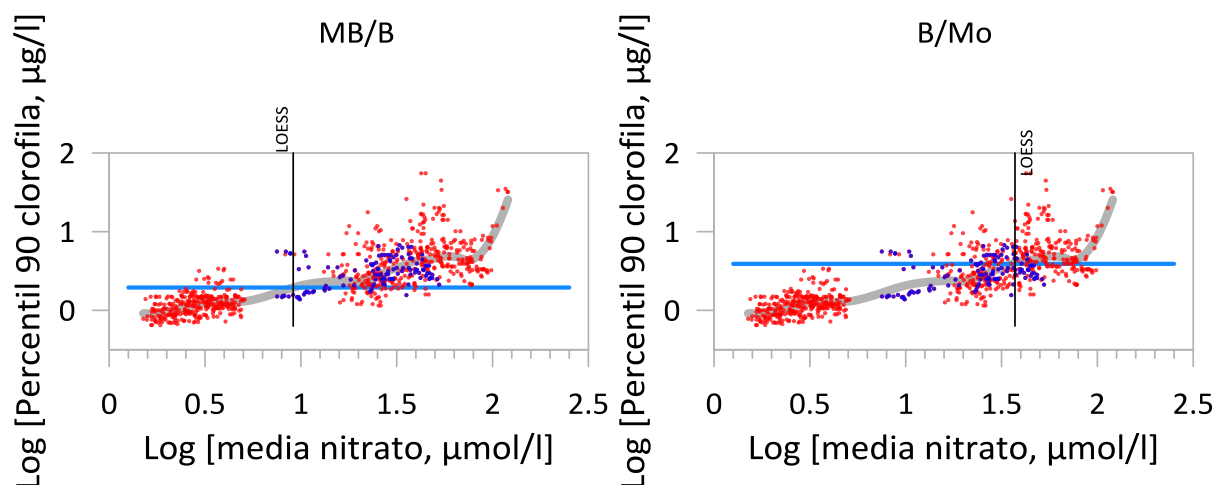


Figura 16 Relación entre la concentración de **nitrato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.25; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,62; $P < 0,0001$.

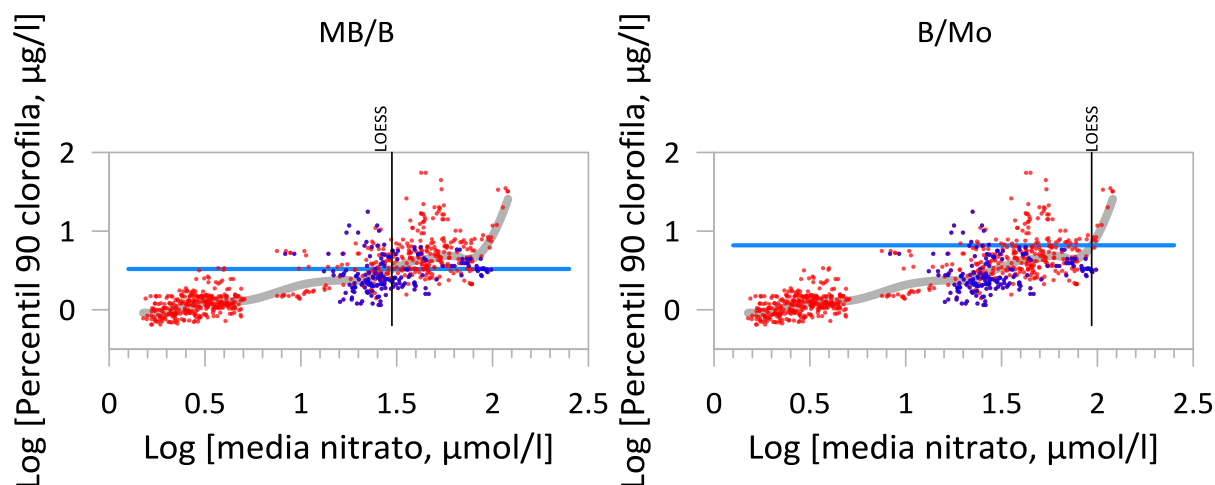


Figura 17 Relación entre la concentración de **nitrato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **polihalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.25; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,62; $P < 0,0001$.

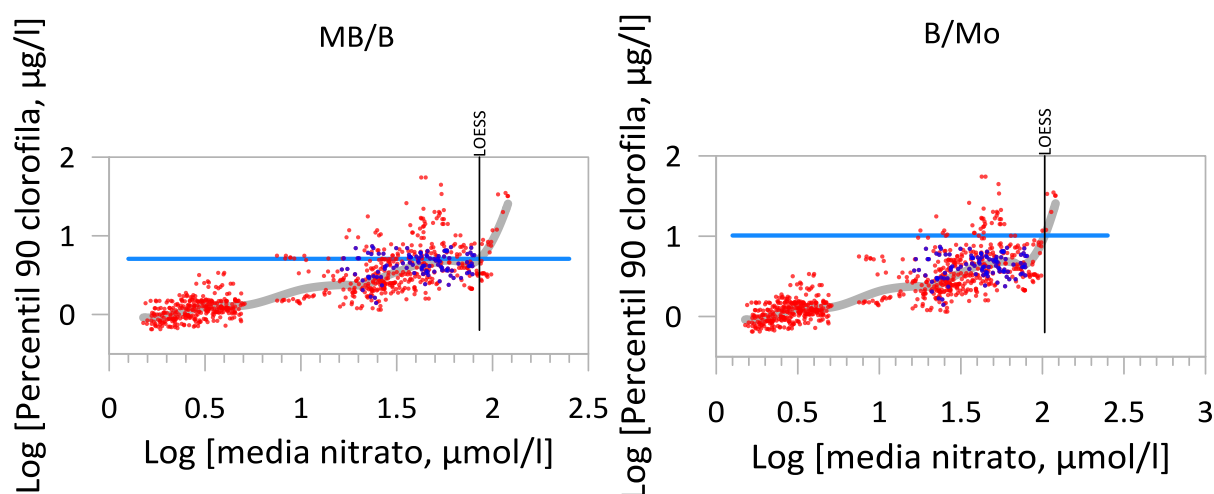


Figura 18 Relación entre la concentración de **nitrato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **mesohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.25; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,62; $P < 0,0001$.

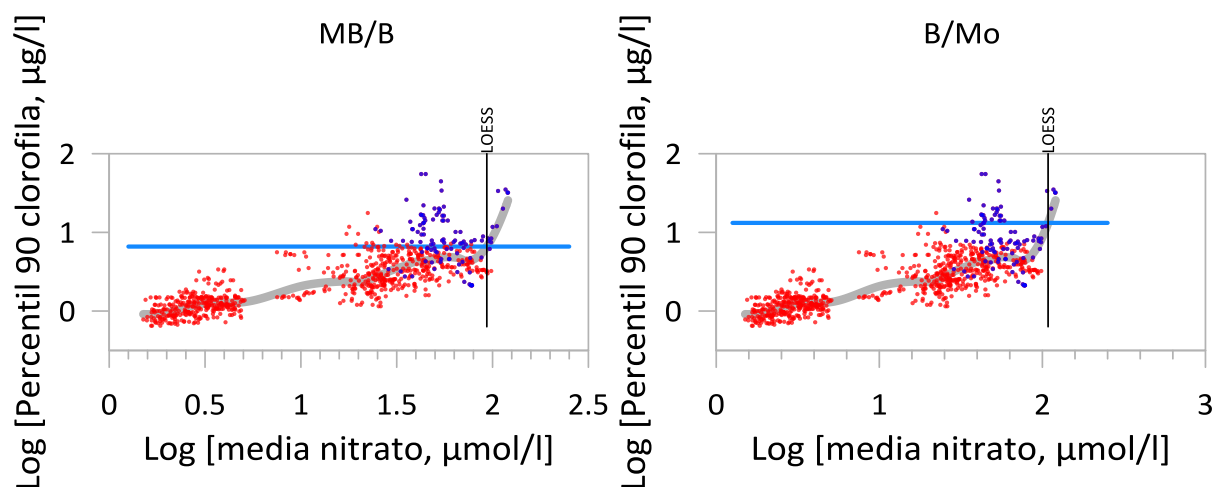


Figura 19 Relación entre la concentración de **nitrato**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **oligohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.25; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,62; $P < 0,0001$.

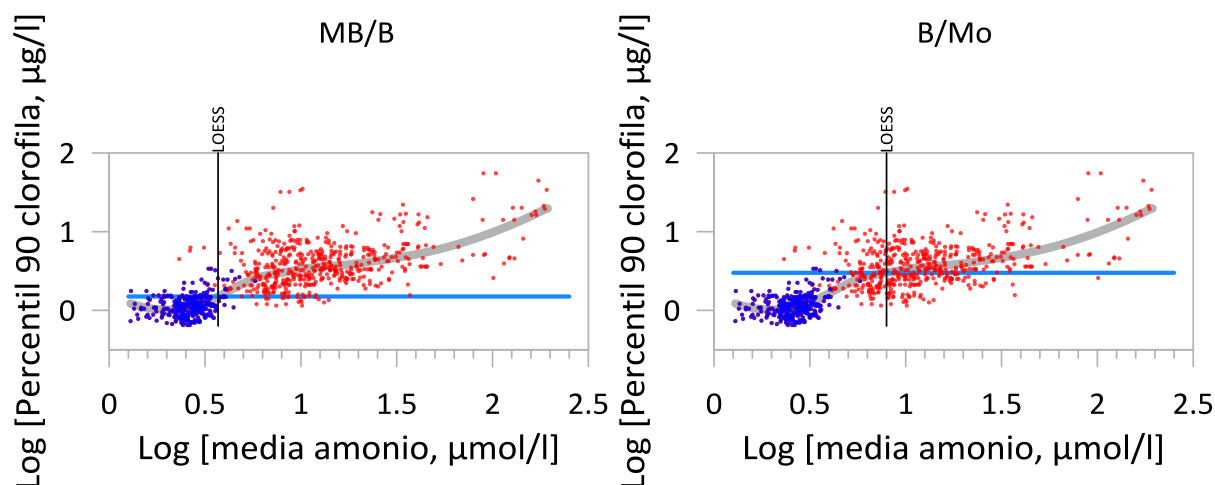


Figura 20 Relación entre la concentración de **amonio**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino mar**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0,2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,60; $P<0,0001$.

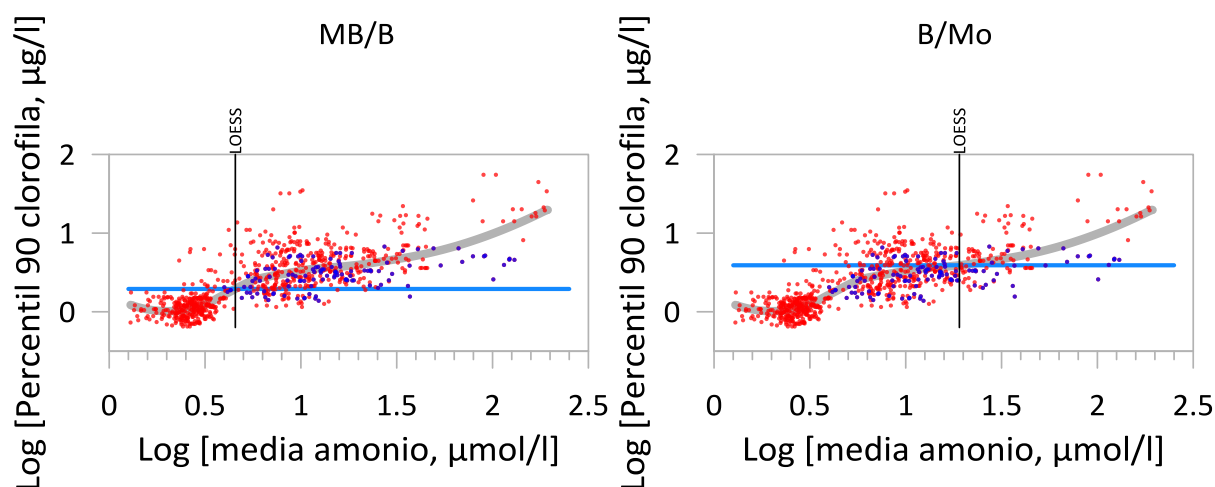


Figura 21 Relación entre la concentración de **amonio**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **euhalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0,2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,60; $P<0,0001$.

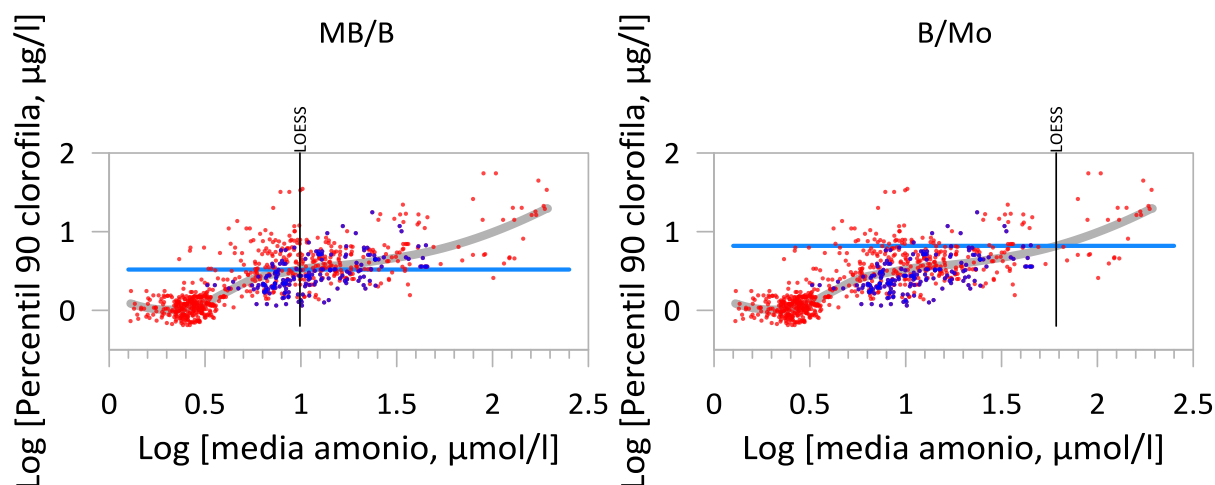


Figura 22 Relación entre la concentración de **amonio**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **polihalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,60; $P < 0,0001$.

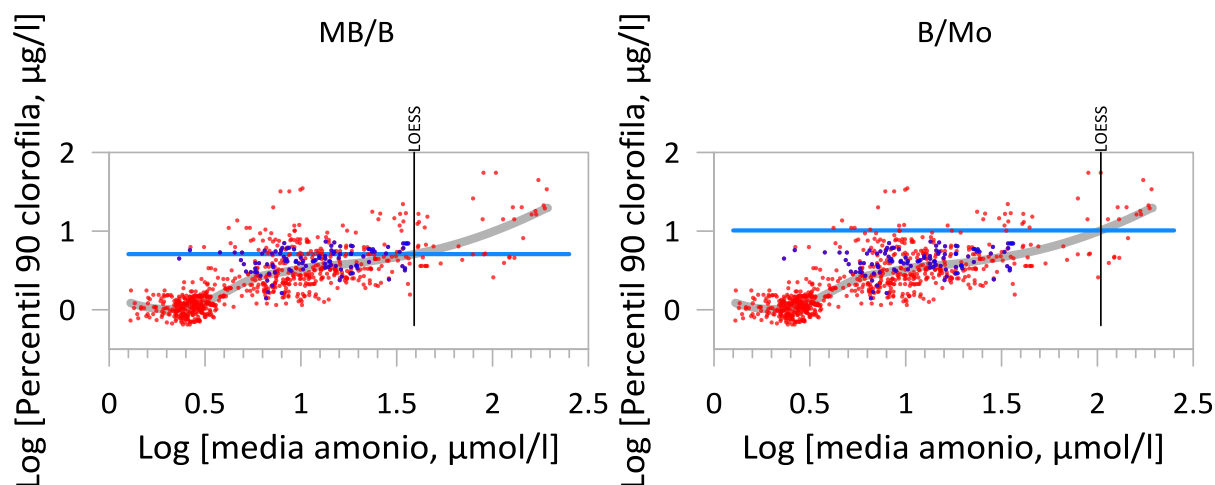


Figura 23 Relación entre la concentración de **amonio**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **mesohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase "Muy bueno/Bueno" (arriba) y "Bueno/Moderado" (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,60; $P < 0,0001$.

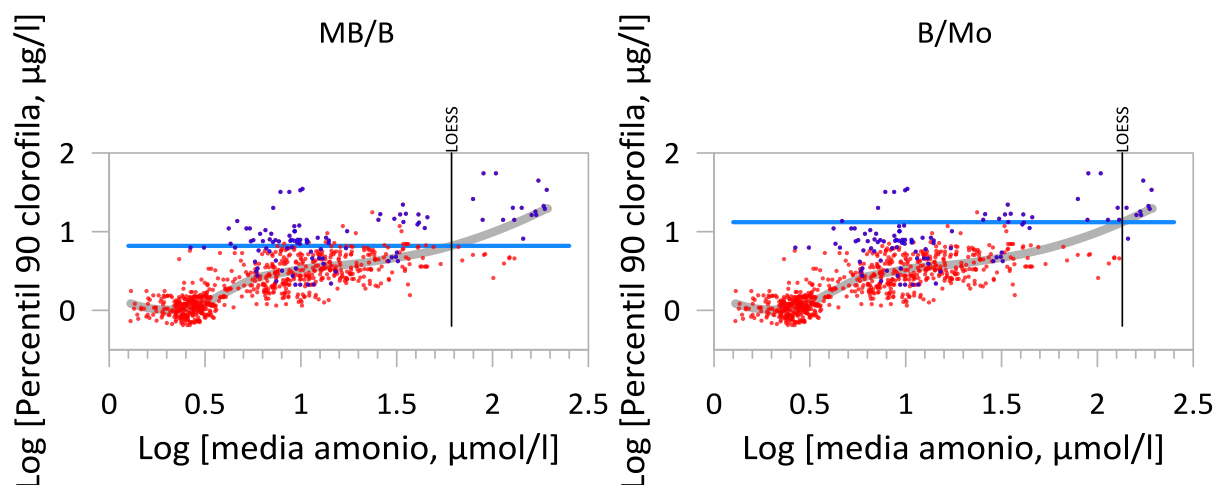


Figura 24 Relación entre la concentración de **amonio**, en el eje X (con transformación logarítmica) y la concentración de clorofila-a en el eje Y (con transformación logarítmica). En color azul se señalan en horizontal los límites de cambio de clase de clorofila-a (tramo de salinidad **oligohalino**) y en color negro se señalan en vertical los límites de cambio de clase calculados mediante regresión LOESS (señalada en gris) para los límites de clase “Muy bueno/Bueno” (arriba) y “Bueno/Moderado” (abajo). Parámetros de la regresión LOESS: span: 0.2; familia de ajuste: simétrica; grado: 2 (cuadrático); R^2 ajustada= 0,60; $P < 0,0001$.

4.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POR CUANTILES

El análisis de regresión por cuantiles tiene ciertas similitudes con respecto a la regresión por mínimos cuadrados ordinaria. Sin embargo, mientras que las regresiones ordinarias intentan modelizar la respuesta media, en las regresiones de cuantiles se modeliza la respuesta de un cuantil. Si se modeliza el cuantil 0,5 o percentil 50 (P50, o mediana), se está modelizando la respuesta en la cual el 50% de los valores observados están por debajo de ese cuantil. En este sentido, el método se considera menos sensible a la presencia de “outliers” que una regresión por mínimos cuadrados ordinaria.

Por otro lado, este método permite modelizar un cuantil concreto. En este caso se han utilizado el cuantil 0,50 (P50) y el 0,75 (P75). Una regresión por cuantiles P75 entre la concentración de nutriente (variable independiente) y la concentración de clorofila-a (variable dependiente) nos permite calcular para una concentración de nutriente determinada la concentración de clorofila-a por debajo de la cual se espera que estén un 75% de los datos observados.

A modo de ejemplo hipotético, en la Figura 25 se representa la regresión para el cuantil 0,5 entre la concentración media de amonio (eje X) y el percentil 90 de la concentración de clorofila-a (eje Y). La línea verde horizontal representa el límite entre las clases “Bueno” y “Moderado” de clorofila-a para un tramo salino determinado. A partir de la ecuación de la regresión se calcula la concentración de amonio en la que se obtiene la concentración de clorofila-a del límite “Bueno/Moderado”.

La utilización de regresión por cuantiles, usando un cuantil superior al 0,5, puede ser útil cuando se considera que a un nivel de nutrientes no se alcanza una respuesta proporcional de la clorofila-a por efecto limitante de otras variables (por ejemplo, alta turbidez) en un número de datos observados.

Dicho en otras palabras, utilizar un cuantil superior al 0,5 puede considerarse como un indicador teórico del potencial ecológico del fitoplancton de alcanzar una determinada biomasa con un nivel de nutrientes dado. Sin embargo, no existe acuerdo sobre qué cuantil es el más adecuado para calcular límites de clase para nutrientes (Phillips et al., 2018).

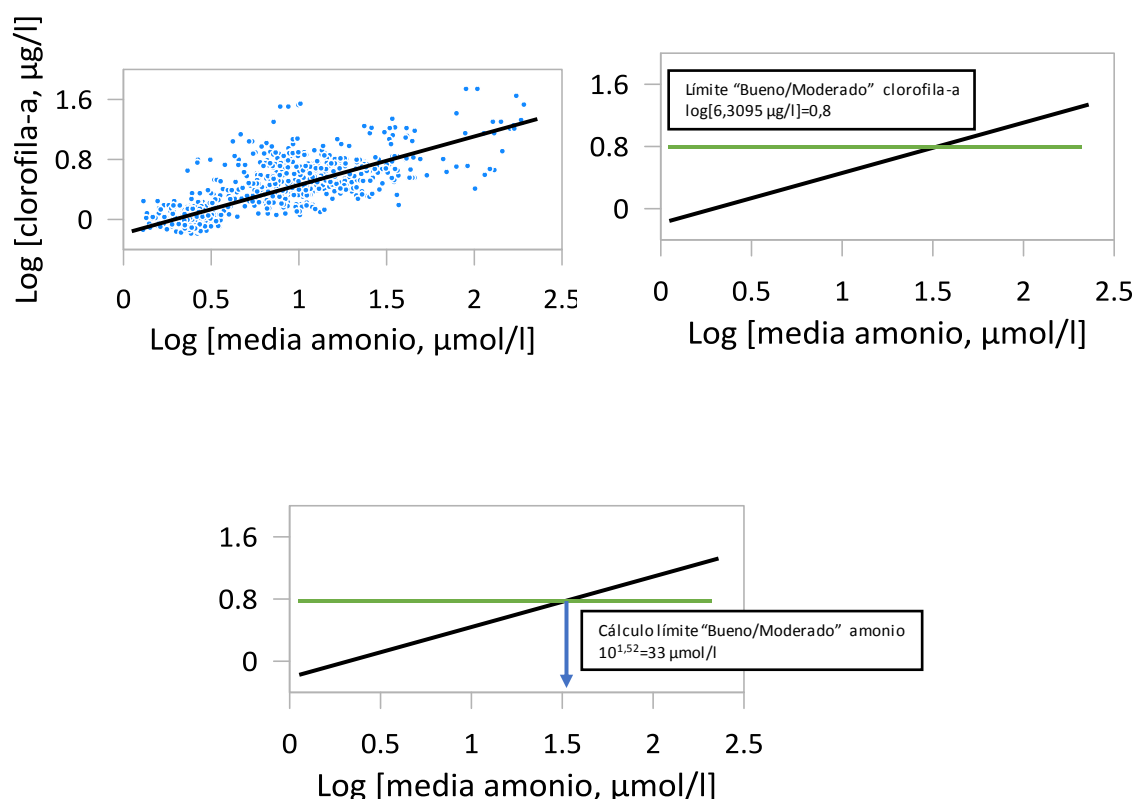


Figura 25 Ejemplo hipotético de análisis de regresión por cuantiles entre el logaritmo decimal de la concentración media de amonio (eje X, a partir de concentración en $\mu\text{mol/l}$) y el logaritmo decimal del percentil 90 de la concentración de clorofila-a (eje Y, a partir de concentración en $\mu\text{g/l}$). La línea verde horizontal representa el límite entre las clases "Bueno" y "Moderado" de clorofila-a para el tramo salino que se evalúa. En negro se representa la regresión del cuantil 0,5. En azul se representa el cálculo el límite "Bueno/moderado" para concentración de amonio, a partir de la regresión.

En el Anexo I se muestran los informes obtenidos con el software para el cálculo de los niveles con regresión de cuantiles. Los resultados obtenidos aplicando este método se presentan en la Tabla 4 y Tabla 5. Debe tenerse en cuenta que en algunos casos los valores de nutrientes calculados son notablemente superiores al rango de valores observados, por lo que estos resultados deben tomarse con precaución y se señalan con asterisco.

Tabla 4 Límites de clase para nutrientes ($\mu\text{mol/l}$) calculados a partir de regresión de cuantiles (P50) con la concentración de clorofila-a. Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan valores calculados fuera de rango de nutrientes observado.

Tramo salino	Fosfato		Amonio		Nitrato	
	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo
Oligohalino	4,33	15,38*	37,1	120,8	124,7	601,0*
Mesohalino	2,96	9,26	26,1	75,4	77,8	320,4*
Polihalino	1,38	4,33	12,9	37,1	30,3	124,7
Euhalino	0,57	1,78	5,6	16,3	10,1	41,5
Euhalino mar	0,34	1,22	3,5	11,4	5,4	25,9

Tabla 5 Límites de clase para nutrientes ($\mu\text{mol/l}$) calculados a partir de regresión de cuantiles (P75) con la concentración de clorofila-a. Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan valores calculados fuera de rango de nutrientes observado.

Tramo salino	Fosfato		Amonio		Nitrato	
	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo
Oligohalino	1,82	5,13	18,6	51,6	52,3	212,5*
Mesohalino	1,33	3,39	13,7	34,3	34,3	121,3
Polihalino	0,72	1,82	7,5	18,6	14,8	52,3
Euhalino	0,35	0,88	3,7	9,1	5,5	19,6
Euhalino mar	0,23	0,65	2,4	6,7	3,2	12,9

4.4. MINIMIZACIÓN DEL DESAJUSTE ENTRE LAS CLASIFICACIONES PARA EL COMPONENTE BIOLÓGICO Y LOS NUTRIENTES (“MINIMISATION OF MISMATCH”).

A diferencia de los dos métodos anteriores, este método se realizó segmentando la información por tipología de tramo salino. A continuación se explica cómo se calcula el límite para un nutriente a partir de un límite conocido de “Bueno/Moderado” de clorofila-a.

- Para cada observación se realiza una clasificación binaria en función de si cumple el límite de clase de la concentración de clorofila-a (este límite de clase ya está establecido para cada tramo salino, tal como se indica en los antecedentes). Así, cada observación tiene dos posibles clasificaciones:
 - Cumple el límite de “Bueno/Moderado” de clorofila-a (esto es, la concentración de clorofila-a observada es inferior a este límite y por lo tanto su estado para este componente es ‘bueno o mejor que bueno’).
 - No cumple el límite de “Bueno/Moderado” de clorofila-a (esto es, la concentración de clorofila-a observada es superior a este límite y por lo tanto su estado para este componente es ‘moderado o peor que moderado’).
- Para cada observación se realiza una clasificación binaria (‘bueno o mejor que bueno’, ‘moderado o peor que moderado’) utilizando distintas concentraciones de un nutriente como posible límite “Bueno/Moderado”.
- Se representa el grado de desajuste para cada una de las posibles concentraciones de nutrientes. El grado de desajuste se representa mediante dos líneas:
 - una línea representa el porcentaje de datos observados que presentan valores de clorofila-a asignados a ‘bueno o mejor que bueno’ pero que presentan concentraciones de nutriente asignada a ‘moderado o peor de moderado’,
 - otra línea representa el porcentaje de datos observados que presentan valores de clorofila-a asignados a ‘moderado o peor que moderado’ pero que presentan concentraciones de nutriente asignada a ‘bueno o mejor que bueno’.
- El cruce de las dos líneas representa la concentración del nutriente donde se produce el mínimo desajuste en la clasificación.

A modo de ejemplo, en la Figura 26 se observa que la concentración de 27 $\mu\text{mol/l}$ de amonio es la que presenta el mínimo desajuste en la clasificación de los datos procedentes de estaciones oligohalinas para el límite “Bueno/Moderado” de clorofila-a. De forma similar, en la Figura 27 se observa que una concentración de 8,5 $\mu\text{mol/l}$ de amonio es la que presenta el mínimo desajuste en la clasificación de los datos procedentes de estaciones oligohalinas para el límite “Muy bueno/Bueno” de clorofila-a.

Debe tenerse en cuenta que para poder realizar esta aproximación debe haber datos que superen y no superen el límite de clorofila-a. Así, si, por ejemplo, para un conjunto de datos, ninguno (o una proporción muy pequeña) no supera un determinado límite de clorofila-a, no es posible calcular el límite correspondiente de nutriente. Así, en el caso del límite “Bueno/Moderado” en el tramo mesohalino, euhalino y euhalino mar y para el caso de los tres nutrientes no se han podido calcular los límites debido a la falta de datos.

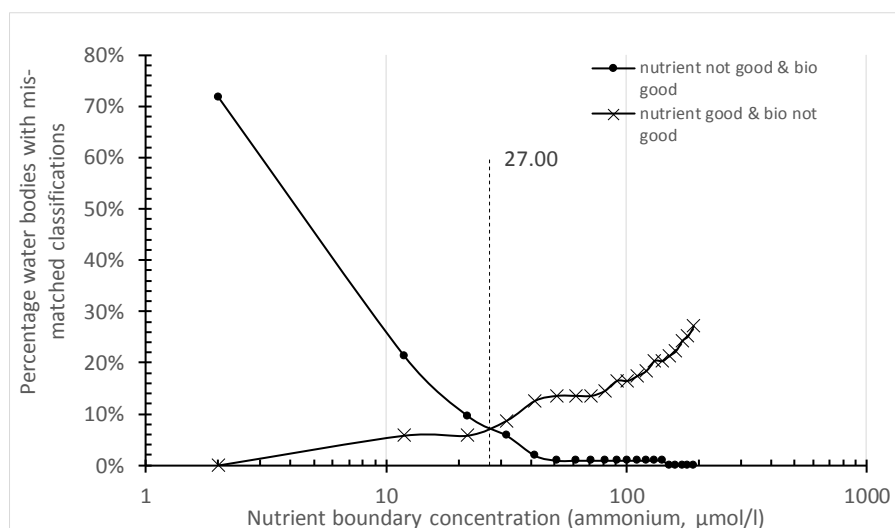


Figura 26 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados (es decir, que no coinciden en la clasificación relativa a la clorofila-a y al amonio en el cumplimiento del límite “Bueno/Moderado”) y la aplicación de distintas concentraciones de nutrientes como límite “Bueno/Moderado” para un límite “Bueno/Moderado” definido de clorofila-a. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

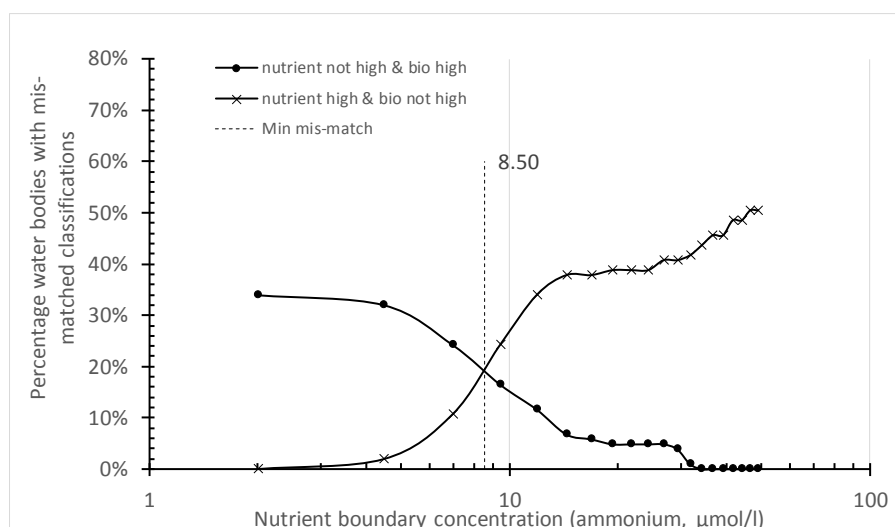


Figura 27 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados (es decir, que no coinciden en la clasificación referente a la clorofila-a y al amonio en el cumplimiento del límite “Muy bueno/Bueno”) y la aplicación de distintas concentraciones de nutrientes como límite “Muy bueno/Bueno” para un límite “Muy bueno/Bueno” definido de clorofila-a. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

En el Anexo II se muestran los informes obtenidos con el software para el cálculo de estos niveles mediante minimización del desajuste. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos por este método. En los tramos mesohalino, polihalino y euhalino no se ha podido calcular el límite “Bueno/Moderado” (B/Mo) de nutrientes porque el número de observaciones que supera el nivel B/Mo de clorofila-a es muy bajo.

Tabla 6 Límites de clase para nutrientes (µmol/l) calculados mediante minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes. Límite MB/B: límite “Muy bueno/Bueno”; límite B/Mo: “Bueno/Moderado”. Se indican los casos en los que no es posible estimar los valores.

Tramo	Fosfato		Amonio		Nitrato	
	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo	Límite MB/B	Límite B/Mo
Oligohalino	1,35	3,0	8,5	27,0	48,0	68,0
Mesohalino	1,82	no es posible	14,4	no es posible	50,4	no es posible
Polihalino	1,33	no es posible	13,8	no es posible	32,5	no es posible
Euhalino	0,81	2,1	7,0	20,5	11,0	35,5
Euhalino mar	0,29	no es posible	3,3	no es posible	4,1	no es posible

4.5. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En las figuras de esta sección se representan los límites de clase para nutrientes vigentes, es decir, los del Real Decreto 1/2016 Anexo I. Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (2015 2021). Apéndice 3 Indicadores y límites de cambio de clase para los elementos de calidad de masas de agua superficial naturales de aplicación a aguas de transición y costeras las masas de agua de transición y costeras (Tabla 1, página 5; en adelante “R.D. 1/2016”) de forma que se permite una comparación visual con los límites calculados en este estudio.

Aun cuando los límites de clase del R.D. 1/2016 se calcularon mediante una metodología de dilución a partir de condiciones de referencia y, por otro lado, los límites de clase calculados en este estudio se basan en las relaciones entre nutrientes y clorofila-a, cabe valorar, al menos, las dos siguientes preguntas:

- ¿Existe coherencia entre los límites del R.D. 1/2016 y los calculados a partir de las relaciones entre nutrientes y clorofila-a?
- ¿Son los límites del R.D. 1/2016 permisivos o estrictos, si se comparan con los calculados a partir de las relaciones entre nutrientes y clorofila-a?

4.5.1. Fosfato

En el caso del límite “**Muy bueno/Bueno**” del R.D. 1/2016 se observan importantes diferencias en función del tramo salino (Tabla 7, Figura 28).

- En el tramo **euhalino mar** los valores del R.D. 1/2016 son notablemente superiores a los calculados en este estudio, resultando, por lo tanto, más permisivos (Tabla 8).
- En el tramo **euhalino**, los valores del R.D. 1/2016 son relativamente próximos al calculado según regresión cuantil de la mediana (P50), es decir, se aproximaría a la concentración de fosfato a partir del cual es esperable que en más de un 50% de los casos se supere el límite Muy bueno/Bueno de clorofila-a.
- En los otros tres tramos salinos (**polihalino, mesohalino y oligohalino**), los valores del R.D. 1/2016 se encuentran entre los calculados mediante las regresiones cuantil P50 y P75, lo que sería coherente si existiesen observaciones que pueden estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).

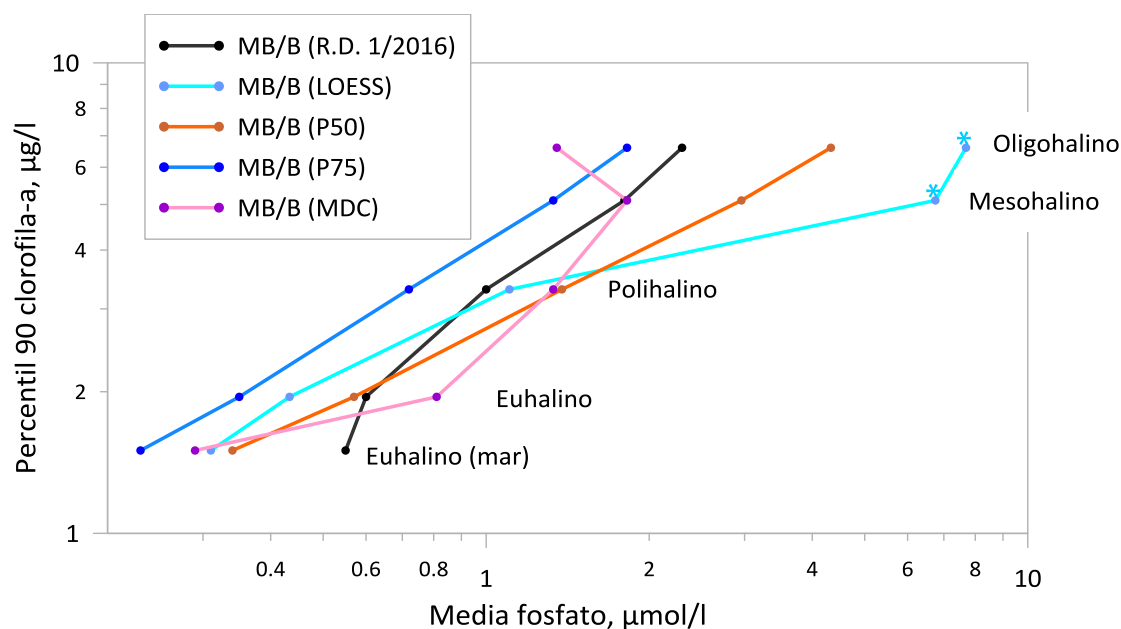


Figura 28 Límites de clase **"Muy bueno/Bueno"** de **fosfato**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

En el caso del límite **"Bueno/Moderado"** del R.D. 1/2016 se observa que, en los cinco tramos salinos, los valores del R.D. 1/2016 se encuentran entre los calculados mediante las regresiones cuantil P50 y P75, lo que sería coherente si existiesen observaciones que pudiesen estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez) (Tabla 7, Figura 29).

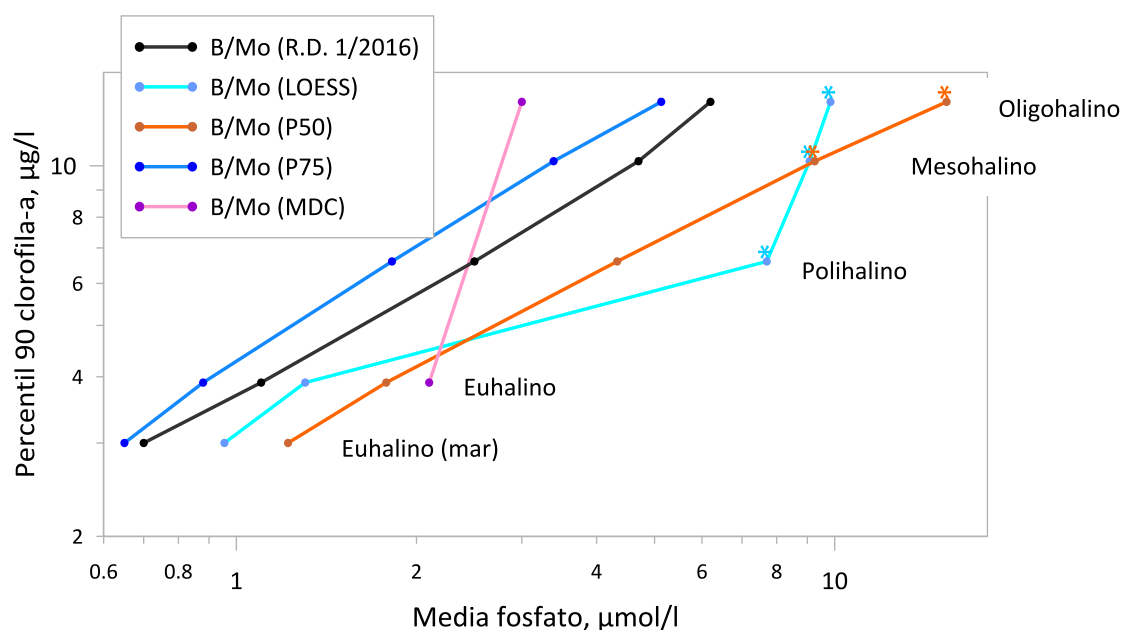


Figura 29 Límites de clase **"Bueno/Moderado"** de **fosfato**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

Tabla 7 Límites de clase para **fosfato** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 y los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (P50, P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan estimaciones que deben tomarse con precaución.

Tramo salino	Límite MB/B					Límite B/Mo				
	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC
Oligohalino	2,30	7,69*	4,33	1,82	1,35	6,20	9,84*	15,38*	5,13	3,00
Mesohalino	1,80	6,75*	2,96	1,33	1,82	4,70	9,08*	9,26	3,39	-
Polihalino	1,00	1,10	1,38	0,72	1,33	2,50	7,70*	4,33	1,82	-
Euhalino	0,60	0,43	0,57	0,35	0,81	1,10	1,30	1,78	0,88	2,10
Euhalino mar	0,55	0,31	0,34	0,23	0,29	0,70	0,95	1,22	0,65	-

Tabla 8 Comparación de la permisividad de los límites de clase para **fosfato** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 con relación a los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (rango P50-P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan estimaciones que deben tomarse con precaución.

Tramo salino	Límite MB/B			Límite B/Mo		
	LOESS	Rango P50-P75	MDC	LOESS	Rango P50-P75	MDC
Oligohalino	Estricto*	Intra rango	Permisivo	Estricto*	Intra rango*	Permisivo
Mesohalino	Estricto*	Intra rango	Similar	Estricto*	Intra rango	-
Polihalino	Estricto	Intra rango	Estricto	Estricto*	Intra rango	-
Euhalino	Permisivo	Similar P50	Estricto	Estricto	Intra rango	Estricto
Euhalino mar	Permisivo	Permisivo	Permisivo	Estricto	Intra rango	-

4.5.2. Nitrato

En el caso del límite "**Muy bueno/Bueno**" del R.D. 1/2016 se observan algunas diferencias en función del tramo salino (Tabla 9, Figura 30).

- En los tramos **euhalino mar** y **euhalino**, los valores del R.D. 1/2016 son superiores a los calculados en este estudio, resultando, por lo tanto, más permisivos (Tabla 10).
- En el tramo **polihalino**, los valores del R.D. 1/2016 son relativamente próximos al calculado según regresión cuantil de la mediana (P50), es decir se aproximaría a la concentración de nitrato a partir del cual es esperable que en más de un 50% de los casos se supere el límite "Muy bueno/Bueno" de clorofila-a. Esta concentración también es muy similar a la calculada mediante regresión LOESS y minimización del desajuste entre las clasificaciones.
- En los otros dos tramos salinos (**mesohalino** y **oligohalino**), los valores del R.D. 1/2016 se encuentran entre los calculados mediante regresiones cuantil P50 y P75, lo que sería coherente si existiesen observaciones que pudiesen estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).

En el caso del límite "**Bueno/Moderado**" del R.D. 1/2016 se observan algunas diferencias en función del tramo salino (Tabla 9, Figura 31).

- En los tramos **euhalino** y **polihalino**, los valores del R.D. 1/2016 son próximos al calculado mediante regresión cuantil P75, lo que sería coherente si existiesen en torno a un 50% observaciones en estos tramos que pudiesen estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).
- En el resto de los tramos salinos, el límite "Bueno/Moderado" del R.D. 1/2016 es inferior al calculado mediante regresión cuantil P75, resultado, por tanto, menos permisivo.

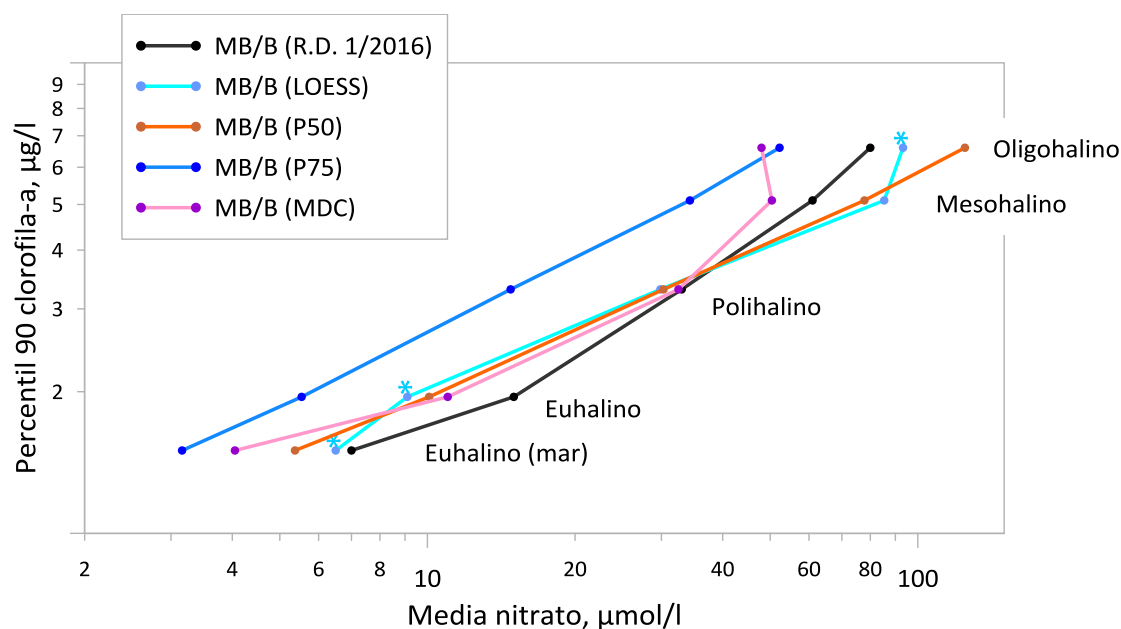


Figura 30 Límites de clase **"Muy bueno/Bueno"** de **nitrato**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

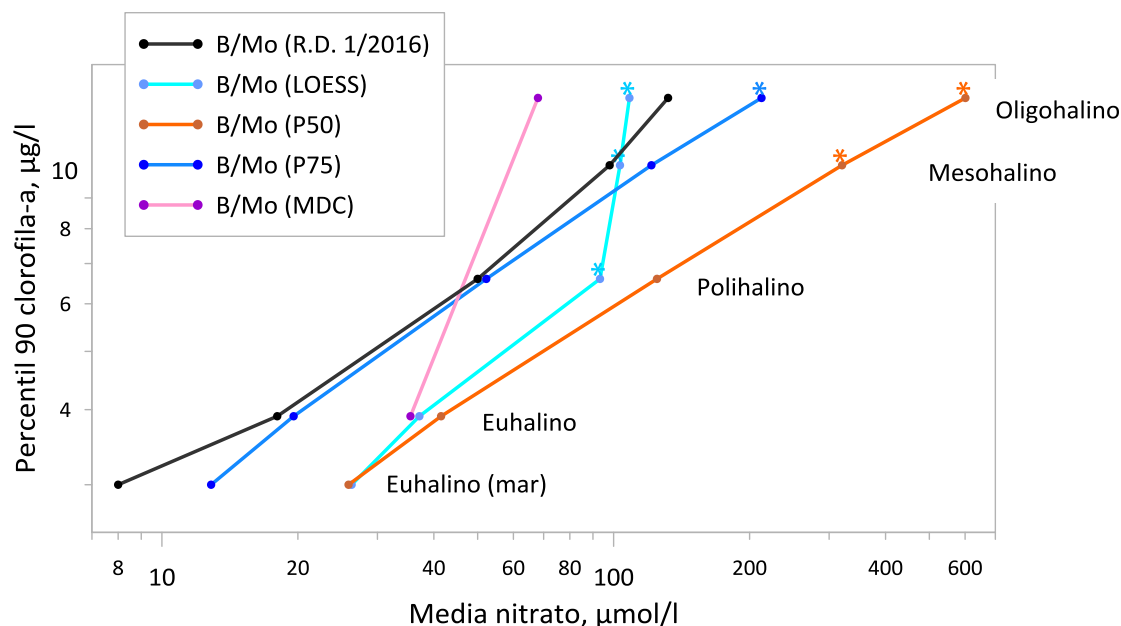


Figura 31 Límites de clase **"Bueno/Moderado"** de **nitrato**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

Tabla 9 Límites de clase para **nitrato** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 y los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (P50, P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan valores que deben de tratarse con precaución.

Tramo	Límite MB/B					Límite B/Mo				
	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC
Oligohalino	80,0	93,3*	124,7	52,3	48,0	132,0	108,4*	601,0*	212,5*	68,0
Mesohalino	61,0	85,4	77,8	34,3	50,4	98,0	103,3*	320,4*	121,3	-
Polihalino	33,0	29,9	30,3	14,8	32,5	50,0	93,3*	124,7	52,3	-
Euhalino	15,0	9,1*	10,1	5,5	11,0	18,0	37,2	41,5	19,6	35,5
Euhalino mar	7,0	6,5*	5,4	3,2	4,05	8,0	26,3	25,9	12,9	-

Tabla 10 Comparación de la permisividad de los límites de clase para **nitrato** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 con relación a los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (rango P50-P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan estimaciones que deben de tratarse con precaución.

Tramo	Límite MB/B			Límite B/Mo		
	LOESS	Rango P50-P75	MDC	LOESS	Rango P50-P75	MDC
Oligohalino	Estricto*	Intra rango	Estricto	Estricto*	Estricto*	Permisivo
Mesohalino	Estricto	Intra rango	Permisivo	Estricto*	Estricto*	-
Polihalino	Similar	Similar P50	Similar	Estricto*	Similar P75	-
Euhalino	Permisivo*	Permisivo	Permisivo	Estricto	Similar P75	Estricto
Euhalino mar	Permisivo*	Permisivo	Permisivo	Estricto	Estricto	-

4.5.3. Amonio

En el caso del límite "**Muy bueno/Bueno**" del R.D. 1/2016 se observan importantes diferencias en función del tramo salino (Tabla 11, Figura 32).

- En el tramo **euhalino mar**, los valores del R.D. 1/2016 son muy similares a los calculados en este estudio (exceptuando el calculado mediante regresión cuantil P75).
- En el tramo **euhalino**, el valor del R.D. 1/2016 está entre los calculados mediante regresiones cuantil P50 y P75, lo que parece acorde a la presencia de observaciones que pudiesen estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).
- En el tramo **polihalino** el límite del R.D. 1/2016 está próximo al calculado mediante regresión cuantil P75, lo que parece acorde a una situación hipotética en la que en torno a un 50% de observaciones en este tramo podrían estar influenciadas por factores que pueden limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).
- En el tramo **mesohalino** el límite del R.D. 1/2016 es inferior a los calculados en este informe, es decir, es menos permisivo (Tabla 12).
- En el tramo **oligohalino** el límite del R.D. 1/2016 es intermedio entre el calculado mediante regresión cuantil P75 y el obtenido mediante minimización del desajuste entre las clasificaciones.

En el caso del límite "**Bueno/Moderado**" del R.D. 1/2016 se observan importantes diferencias en función del tramo salino (Tabla 11, Figura 33).

- En los tramos **euhalino mar** y **euhalino** los valores del R.D. 1/2016 son muy similares a los calculados mediante regresión cuantil P75, lo que sería coherente en una situación hipotética en la que existen observaciones que pueden estar influenciadas por factores que puedan limitar la concentración de clorofila-a (por ejemplo, alta turbidez).

- En los otros tres tramos salinos (**polihalino, mesohalino y oligohalino**) el límite “Bueno/Moderado” del R.D. 1/2016 es menor que el calculado mediante regresión cuantil P75. En el tramo **oligohalino** el límite “Bueno/Moderado” del R.D. 1/2016 es similar al calculado mediante minimización del desajuste entre las clasificaciones.

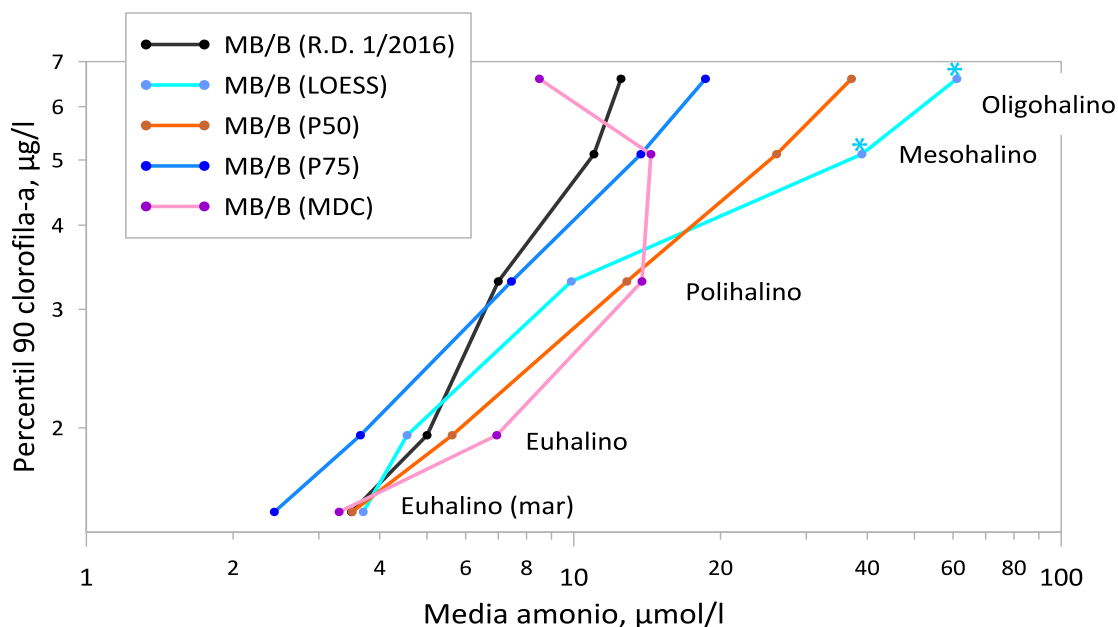


Figura 32 Límites de clase “**Muy bueno/Bueno**” de **amonio**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

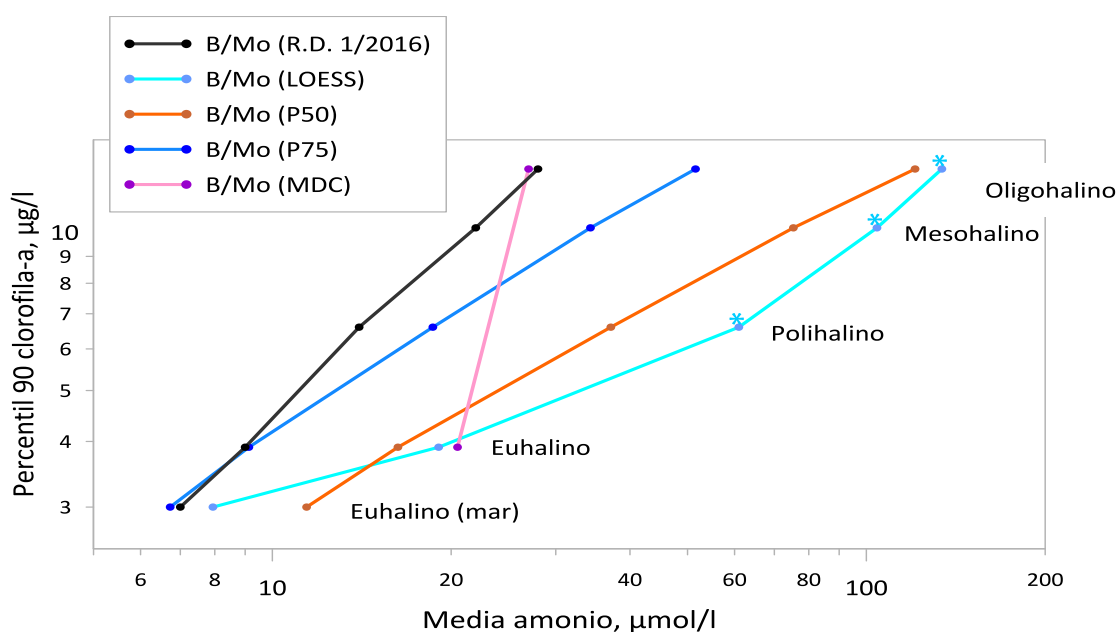


Figura 33 Límites de clase “**Bueno/Moderado**” de **amonio**, en el eje X, de la concentración de clorofila-a, en el eje Y. En negro se representan los valores del R.D. 1/2016; el resto de los colores corresponden a los valores calculados en este estudio: regresión LOESS, regresión cuantil (P50 y P75) y Minimización del Desajuste entre las Clasificaciones (MDC). Con asterisco se señalan valores que deben de tomarse con precaución.

Tabla 11 Límites de clase para **amonio** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 y los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (P50, P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan valores que deben tomarse con precaución.

Tramo salino	Límite MB/B					Límite B/Mo				
	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC	R.D. 1/2016	LOESS	P50	P75	MDC
Oligohalino	12,5	61,1*	37,1	18,6	8,5	28,0	134,0*	120,8	51,6	27,0
Mesohalino	11,0	39,0*	26,1	13,7	14,4	22,0	104,2*	75,4	34,3	-
Polihalino	7,0	9,9	12,9	7,5	13,8	14,0	61,0*	37,1	18,6	-
Euhalino	5,0	4,6	5,6	3,7	7,0	9,0	19,1	16,3	9,1	20,5
Euhalino mar	3,5	3,7	3,5	2,4	3,3	7,0	7,9	11,4	6,7	-

Tabla 12 Comparación de la permisividad de los límites de clase para **amonio** ($\mu\text{mol/l}$) del R.D. 1/2016 con relación a los calculados en este estudio mediante regresión LOESS, regresión de cuantiles (rango P50-P75) y minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes (MDC). Límite MB/B: límite "Muy bueno/Bueno"; límite B/Mo: límite "Bueno/Moderado". Con asterisco se señalan valores que deben tomarse con precaución.

Tramo salino	Límite MB/B			Límite B/Mo		
	LOESS	Rango P50-P75	MDC	LOESS	Rango P50-P75	MDC
Oligohalino	Estricto*	Estricto	Permisivo	Estricto*	Estricto	Similar
Mesohalino	Estricto*	Estricto	Estricto	Estricto*	Estricto	-
Polihalino	Estricto	Similar P75	Estricto	Estricto*	Estricto	-
Euhalino	Similar	Intra rango	Estricto	Estricto	Similar P75	Estricto
Euhalino mar	Similar	Similar P50	Similar	Similar	Similar P75	-

5.

Comparación con otros ámbitos geográficos

Para comparar los límites de clase estimados para las aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental se han tenido en cuenta los límites vigentes en el Golfo de Bizkaia y costa ibérica atlántica, mar Céltico y mar del Norte, por tratarse de las regiones, subregiones o mares en el ámbito del área de estudio o las más próximas al mismo, y con las que comparte en mayor medida las principales características oceanográficas y tróficas. En estas comparaciones no se han tenido en cuenta los valores vigentes en zonas de los mares Mediterráneo y Negro, del Mar Báltico y de Macaronesia, por tratarse de zonas marinas muy diferentes y alejadas al área de estudio.

Los límites de clase para las diferentes categorías y tipologías en los estados miembros (España en su vertiente atlántica, Portugal, Francia también en su vertiente atlántica, Irlanda, Reino Unido, Bélgica, Países Bajos, Alemania en su vertiente atlántica, Dinamarca en su vertiente atlántica y Noruega) fueron solicitados al grupo de trabajo ECOSTAT (*Ecological Status*), que trabaja en el ámbito de la Estrategia Común de Implementación de la DMA. Desgraciadamente, en las tablas de datos remitidas por dicho grupo no aparecen datos de Francia, Alemania, Dinamarca y Noruega. Especialmente interesante por su proximidad oceanográfica hubiera sido contar con los de datos de los límites de clase de las aguas francesas del Golfo de Bizkaia.

Para este ejercicio comparativo se han tenido en cuenta varios criterios:

- Solo se han tenido en cuenta, a efectos comparativos, los límites basados en los mismos nutrientes que los estudiados en este trabajo (es decir, ortofosfato, nitrato y amonio) y evaluados de manera similar en cuanto a representatividad temporal; en este sentido, es bastante frecuente que algunos estados miembros consideren solo los valores de nutrientes en determinadas épocas del año (por ejemplo, periodo de crecimiento del fitoplancton, época de mezcla invernal, etc.) en vez de valores medios anuales o hiperanuales. Por lo tanto, no se han considerado los límites vigentes en estados miembros que no se corresponden con tales condiciones.
- No se han considerado los límites de clase para aguas muy modificadas, es decir, tan solo se han comparado tales límites para las aguas naturales.
- Con el objeto de evaluar si las diferencias en los límites de clase entre diferentes zonas son coherentes con los límites de clase para la clorofila-a, cuando se ha podido acceder a ellos se han tenido en cuenta también los valores de dicho indicador.

Habida cuenta de que el principal ámbito oceanográfico de referencia de la zona de estudio es el Golfo de Bizkaia, el análisis comparativo se ha realizado primero a ese nivel geográfico (incluyendo también las aguas marinas gallegas fuera del Golfo de Bizkaia) y, después, en un ámbito más general, a nivel del resto de las regiones y subregiones indicadas anteriormente.

En el caso de las aguas de transición, los límites en algunas zonas se hallan modulados por la salinidad, para lo cual se emplean fórmulas que tienen en cuenta dicha variable. En tales casos se han estimado los límites correspondientes a los mismos tramos salinos que los empleados en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, para lo cual se han considerado las salinidades medias de cada tramo. Es decir: tramo oligohalino (0-5): 2,5; tramo mesohalino (5-18): 11,5; tramo polihalino (18-30): 24; tramo euhalino (30-34): 32; tramo euhalino marino (>34): 35.

5.1. ÁMBITO DEL GOLFO DE BIZKAIA Y GALICIA

Como se puede apreciar en la Tabla 13, los límites vigentes en las aguas de transición de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental para **fosfato**, **nitrato** y **amonio** son claramente superiores a los del resto de demarcaciones.

Tabla 13 Límites de clase para **nutrientes** ($\mu\text{mol/l}$) entre los estados bueno y moderado (límite B/Mo) vigentes en las masas de agua de transición y costeras de las Demarcaciones Hidrográficas del Cantábrico oriental (parte española), Cantábrico occidental, Galicia costa y Miño Sil (parte española) y límites calculados en este estudio mediante el método de cuantiles (P50 y P75; en fondo gris). Se presentan también, entre paréntesis, los límites de clase de la clorofila-a (P90, en $\mu\text{g/l}$). Valores recogidos en el Real Decreto 817/2015 y Real Decreto 1/2016 y en el Plan Hidrológico Galicia Costa. Con asterisco se señalan estimaciones que deben tomarse con precaución.

	Tramo salino	Cantábrico oriental ¹	Cantábrico occidental ²	Galicia Costa ³	Miño Sil ⁴	Límite B/Mo P50	Límite B/Mo P75
Fosfato ($\mu\text{mol/l}$)	Oligohalino	6,20 (13,2)	1,01 (12,0)	1,01 (12,0)	1,01 (12,0)	15,38*	5,13
	Mesohalino	4,70 (10,2)	0,90 (12,0)	0,90 (12,0)	0,90 (12,0)	9,26	3,39
	Polihalino	2,50 (6,6)	0,74 (12,0)	0,74 (12,0)	0,74 (12,0)	4,33	1,82
	Euhalino	1,10 (3,9)	0,63 (8,0)	0,63 (12,0)	0,63 (12,0)	1,78	0,88
	Euhalino marino	0,70 (3,0)	0,60 (3,0-6,0)	0,6-1,3 (6,0-12,0)	0,97 (12,0)	1,22	0,65
Nitrato ($\mu\text{mol/l}$)	Oligohalino	132 (13,2)	63 (12,0)	63 (12,0)	63 (12,0)	601,0*	212,5*
	Mesohalino	98 (10,2)	48 (12,0)	48 (12,0)	48 (12,0)	320,4*	121,3
	Polihalino	50 (6,6)	26 (12,0)	26 (12,0)	26 (12,0)	124,7	52,3
	Euhalino	18 (3,9)	13 (8,0)	13 (12,0)	13 (12,0)	41,5	19,6
	Euhalino marino	8 (3,0)	7 (3,0-6,0)	7,5-14,6 (6,0-12,0)	12 (12,0)	25,9	12,9
Amonio ($\mu\text{mol/l}$)	Oligohalino	28 (13,2)	6,4 (12,0)	6,4 (12,0)	6,4 (12,0)	120,8	51,6
	Mesohalino	22 (10,2)	5,4 (12,0)	5,4 (12,0)	5,4 (12,0)	75,4	34,3
	Polihalino	14 (6,6)	4,0 (12,0)	4,0 (12,0)	4,0 (12,0)	37,1	18,6
	Euhalino	9 (3,9)	3,0 (8,0)	3,0 (8,0)	3,0 (8,0)	16,3	9,1
	Euhalino marino	7 (3,0)	2,7 (3,0-6,0)	2,7-5,7 (6,0-12,0)	3,3 (12,0)	11,4	6,7

¹: se incluyen masas de agua de las tipologías AT-T08, AT-T09, AT-T10, AC-T12.

²: se incluyen masas de agua de las tipologías AT-T08, AT-T09, AT-T10, AT-T11, AC-T12, AC-T14.

³: se incluyen masas de agua de las tipologías AT-T08, AT-T09, AT-T11, AC-T14, AC-T15, AC-T16, AC-T17, AC-T18.

⁴: se incluyen masas de agua de las tipologías AT-T08, AC-T17.

Las diferencias son mayores para las masas de agua de menor salinidad; así, para las aguas oligohalinas el límite B/Mo en las aguas de transición de la de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (6 veces superiores al resto en el caso del fosfato, aproximadamente el doble en el caso de nitrato y cuatro veces superior en el caso de amonio). Tales diferencias no se hallan asociadas a límites superiores de las concentraciones de clorofila-a, que son muy similares para las masas de agua oligohalinas, pero inferiores, en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, para el resto de los tramos salinos.

En las aguas costeras (incluidas en el tramo euhalino marino) el límite B/Mo para **nutrientes** es bastante similar entre las demarcaciones. Las excepciones son Galicia-Costa con valores superiores para fosfato y nitrato, y con un límite para la clorofila-a claramente superior en las otras demarcaciones. En el caso del

amonio los límites con valores más altos se corresponden con los de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental,

En cuanto a los límites estimados en este estudio, los correspondientes al P50 para **fosfato** resultan claramente superiores al resto en todos los tramos salinos menos en el euhalino marino, que es bastante similar. Los correspondientes al P75 son ligeramente inferiores a los actualmente vigentes en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y, por lo tanto, algo más próximos a los del resto de demarcaciones. De nuevo, el límite del tramo euhalino marino es comparable al del resto de demarcaciones.

En cuanto a los límites estimados en este estudio, el correspondiente al P50 para **nitrito** resulta claramente superior al resto en todos los tramos salinos. El correspondiente al P75 es superior a los actualmente vigentes en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico oriental en los tramos oligohalino y mesohalino, y muy similar para el resto de los tramos, resultando bastante próximo a los del resto de demarcaciones. El límite del tramo euhalino marino es comparable a los de las aguas gallegas.

En cuanto a los límites estimados en este estudio, el correspondiente al P50 para **amonio** resulta muy superior al resto en todos los tramos salinos. El correspondiente al P75 es también superior a los actualmente vigentes en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental en los tramos oligohalino y mesohalino, y muy similar para el resto de los tramos, resultando superior a los del resto de demarcaciones.

Como resumen se puede concluir que:

- para **fosfato y nitrito**, y salvo en las masas de agua costeras, tanto los límites vigentes como los estimados en este estudio para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental son superiores a los del resto de demarcaciones, a pesar de que los límites para la clorofila-a son globalmente inferiores.
- para **amonio**, tanto los límites vigentes como los estimados en este estudio para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental son superiores a los del resto de demarcaciones, a pesar de que los límites para la clorofila-a son globalmente inferiores.

5.2. ÁMBITO DE LAS AGUAS TEMPLADAS DEL ATLÁNTICO NORDESTE

Tal y como se ha mencionado antes, para realizar esta comparativa se han empleado los datos proporcionados por el grupo de trabajo ECOSTAT, que proceden de la base de datos WISE. Una vez chequeados los datos, se ha encontrado una serie de limitaciones, que se exponen a continuación.

Por lo que respecta a **aguas de transición**, solo hay datos de límites de clase de Bélgica, España, Irlanda, Países Bajos, Portugal y Reino Unido.

- No se han podido emplear los límites de aguas de transición de Bélgica por corresponder a concentraciones de nutrientes en sus formas totales y a estaciones concretas del año (verano o invierno).
- No se han podido emplear los límites de aguas de transición de Irlanda por corresponder solo a ortofosfato y calculadas como concentraciones medianas. Además, no se proporcionan los límites de clase.
- En el caso de Países Bajos, se dispone de límites de clase solo de nitrógeno inorgánico total para

cinco tipos de masas de agua. Corresponden, como en nuestro caso, a valores medios anuales.

- Los datos de los límites de Portugal corresponden a percentiles (P90), por lo que no son comparables a los de este estudio.
- Los valores de límite de clase del Reino Unido corresponden, en su inmensa mayoría, a percentiles (P99) o a valores de invierno. No hay referencia para el fosfato. El nitrógeno corresponde a nitrógeno inorgánico total y a amonio no ionizado.

Por todo lo anterior, apenas se han podido establecer las comparaciones deseadas. En todo caso, se presentan algunas consideraciones al respecto.

En las aguas de transición de Países Bajos, para el nitrógeno, el límite de clase B/Mo para diferentes tipologías varía entre 1,25 y 2,57 mg N/l, lo cual supone entre 89 y 184 $\mu\text{mol/l}$. Se trata de valores de nitrógeno inorgánico total, por lo que integran al nitrato, nitrito y amonio. Por lo tanto, deberían compararse con la suma de las concentraciones individuales de estas diferentes formas de nitrógeno. A tal efecto se debe mencionar que el nitrito supone casi siempre una forma muy minoritaria de nitrógeno, por lo que la suma de amonio y nitrato ofrece una buena aproximación al nitrógeno inorgánico disuelto. En el caso de las aguas de transición de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, la suma de los valores vigentes de amonio y nitrato del límite B/Mo en el tramo oligohalino es de 160 $\mu\text{mol/l}$, que se halla dentro del rango indicado para las aguas de transición en Países Bajos. La suma de tales valores obtenidos en este estudio mediante el P75 (265 $\mu\text{mol/l}$) resulta superior al rango vigente en los Países Bajos.

En el caso del Reino Unido, el límite B/Mo para las aguas de transición (salinidad <30) es de 30 $\mu\text{mol/l}$, si bien se trata de un valor estimado a partir de concentraciones en invierno y de nitrógeno inorgánico total, por lo que no resulta comparable al límite en las aguas de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. También existen valores del límite para el percentil 99, que varían entre 70 y 270 $\mu\text{mol/l}$, pero no se indica la manera de calcularlos, por lo que no es posible usarlos a efectos comparativos.

En resumen, para las aguas de transición no ha sido posible comparar los valores estimados en este trabajo para el límite B/Mo de fosfato, nitrato y amonio con los existentes en otros países del entorno del Atlántico nordeste. Esto es debido a que, por un lado, no se dispone de datos de varios países y/o tipologías y, por otro, a las diferencias en los indicadores utilizados (formas analizadas de los nutrientes, épocas de medida, descriptores estadísticos empleados, etc.).

Por lo que respecta a las **aguas costeras** hay datos de límites de clase de Bélgica, Alemania, España, Irlanda, Países Bajos, Noruega, Portugal y Reino Unido.

- Los límites B/Mo de las aguas costeras de Bélgica corresponden a concentraciones máximas anuales de ortofosfato y nitrógeno inorgánico total.
- Los límites B/Mo de las aguas costeras de Alemania corresponden a concentraciones medias anuales de fósforo y nitrógeno totales, y a concentraciones invernales de nitrógeno inorgánico total. Por lo tanto, no resultan comparables con los valores obtenidos en este estudio ni con los límites de las aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.
- No se han podido emplear los límites de aguas costeras de Irlanda por corresponder solo a nitrógeno inorgánico total calculadas como concentraciones medianas. Además, no se proporcionan los límites de clase.
- En el caso de Países Bajos, se dispone de límites de clase solo de nitrógeno inorgánico total para

nueve tipos de masas de agua. Corresponden, como en nuestro caso, a valores medios anuales.

- Para las aguas costeras de Noruega solo se dispone de límites para nitrógeno en forma de nitrógeno total. Por lo tanto, no resultan comparables con los valores obtenidos en este estudio ni con los límites de las aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.
- Los datos de los límites de Portugal corresponden a percentiles (P90 o P95), por lo que no son comparables a los de este estudio.
- Los valores de límite de clase del Reino Unido corresponden, en su inmensa mayoría, a percentiles (P99) o a valores de invierno. No hay referencia para el fosfato. El nitrógeno corresponde a nitrógeno inorgánico total y a amonio no ionizado.

Por todo lo anterior, al igual que para las aguas de transición, apenas se han podido establecer las comparaciones deseadas. En todo caso, se presentan algunas consideraciones al respecto.

En las aguas costeras de Bélgica el límite B/Mo para el ortofosfato es de 0,8 $\mu\text{mol/l}$, similar al vigente en las aguas costeras de las diferentes demarcaciones atlánticas del norte ibérico y al estimado en este trabajo mediante el P75. En el caso del nitrógeno inorgánico total el límite en Bélgica es 15 $\mu\text{mol/l}$, similar también al valor resultante de la suma de los límites de nitrato y amonio en las aguas costeras de las mencionadas demarcaciones y al estimado en este trabajo mediante el P75.

En las aguas costeras de Países Bajos, para el nitrógeno, el límite de clase B/Mo para diferentes tipologías es de 0,46 mg N/l, lo cual supone 33 $\mu\text{mol/l}$. Se trata de valores de nitrógeno inorgánico total, por lo que integran al nitrato, nitrito y amonio. En el caso de las aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental la suma de los valores de amonio y nitrato del límite B/Mo es de 15 $\mu\text{mol/l}$, inferior al valor para las aguas costeras en Países Bajos. También el valor estimado en este estudio mediante el P75 para la suma de amonio y nitrato (19,7 $\mu\text{mol/l}$) es inferior al de los Países Bajos.

En el caso del Reino Unido, el límite B/Mo para las aguas costeras es de 15-18 $\mu\text{mol/l}$, si bien se trata de un valor estimado a partir de concentraciones en invierno y de nitrógeno inorgánico total, por lo que no resulta directamente comparable al límite en las aguas de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. También existen valores del límite para el percentil 99, que varían entre 70 y 270 $\mu\text{mol/l}$, pero no se indica la manera de calcularlos, por lo que no es posible usarlos a efectos comparativos.

En resumen, para las aguas costeras apenas ha sido posible comparar directamente los valores estimados en este trabajo para el límite B/Mo de fosfato, nitrato y amonio con los existentes en otros países del entorno de Atlántico nordeste. Las razones de esta dificultad para establecer comparaciones son las mismas que las indicadas para las aguas de transición. En todo caso, con las limitaciones expresadas, los valores del límite B/Mo de las aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y los estimados en este trabajo mediante el P75 resultan similares o próximos a los de Bélgica, Países Bajos y Reino Unido.

El informe “*A comparison of European nutrient boundaries for transitional, coastal and marine waters*” (Dworak et al., 2016), que tenía por objetivo comparar los límites de nutrientes establecidos por los estados miembros de la UE para la implementación de la DMA y de la Directiva Marco de la Estrategia Marina (DMEM) en las aguas de transición, costeras y marinas, concluyó que existe una enorme variabilidad en tales límites. En buena medida, ello se debe a las grandes diferencias en la manera en que los nutrientes se monitorizan y en la manera de calcular las métricas asociadas. Así, se miden diferentes formas de nutrientes (forma total, formas inorgánicas disueltas totales o suma de ellas), en épocas del año no comparables (todo el año, época de crecimiento del fitoplancton, época invernal), se emplean parámetros

estadísticos distintos (valores medios, percentiles, etc.), etc. Tales diferencias se dan entre países miembros, entre mares regionales y entre categorías de masas de agua.

Además, existen también grandes diferencias en los métodos aplicados por los diferentes países para establecer las condiciones de referencia y derivar los límites de clase. Todo ello, unido a que no se dispone de datos de algunos países limita la comparación entre los límites de clase.

5.3. COHERENCIA DE LOS LÍMITES CON LOS DE RÍOS DE LA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

Con el objeto de valorar si los límites vigentes en las aguas de transición de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y los estimados en este estudio son coherentes con los de las aguas continentales de la categoría ríos de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, se han comparado los límites B/Mo de dichas aguas continentales con los de las aguas de transición del tramo oligohalino, por ser las aguas menos mezcladas con el agua de mar y, por lo tanto, las más “próximas” y parecidas a las aguas dulces de los correspondientes ríos.

El límite B/Mo para el fosfato en los ríos de los tipos presentes en el área de estudio (R-T22, R-T23, R-T29, R-T30 y R-T32) es de 0,4 mg/l, lo que supone unos 4 $\mu\text{mol/l}$. Este valor es algo inferior al actualmente vigente en las aguas de transición oligohalinas de la demarcación del cantábrico oriental (6,2 $\mu\text{mol/l}$). El límite estimado en este estudio mediante el P75 resulta muy próximo al indicado para dichas aguas continentales (5,1 $\mu\text{mol/l}$). Se trata, en todo caso, de valores no muy distantes y, por lo tanto, bastante coherentes.

En cuanto al nitrato, el límite B/Mo en los ríos de los tipos presentes en el área de estudio es de 15-25 mg/l, lo que supone 234-391 $\mu\text{mol/l}$. Estos valores son muy superiores al límite actualmente vigente en las aguas de transición oligohalinas de la demarcación del cantábrico oriental (132 $\mu\text{mol/l}$). El límite estimado en este estudio mediante el P75 (213 $\mu\text{mol/l}$) es superior al vigente y muy próximo al indicado para las aguas continentales. Se puede concluir que hay bastante coherencia entre los límites de las aguas continentales (ríos) y el de las aguas de transición en el tramo oligohalino considerando el P75, lo cual relativiza la importancia de las limitaciones estadísticas asociadas a dicho valor previamente mencionadas, por lo que en las tablas subsiguientes no se marcará este valor como asociado con alta incertidumbre.

Finalmente, para el amonio el límite B/Mo en los ríos de los tipos presentes en el área de estudio es de 0,6-1 mg/l, lo que supone 33-56 $\mu\text{mol/l}$. Estos valores son superiores al actualmente vigente en las aguas de transición oligohalinas de la demarcación del Cantábrico oriental (28 $\mu\text{mol/l}$). El límite estimado en este estudio mediante el P75 resulta muy próximo al indicado para dichas aguas continentales (52 $\mu\text{mol/l}$). Se puede concluir que hay bastante coherencia entre los límites de las aguas continentales (ríos) y el de las aguas de transición en el tramo oligohalino considerando el P75.

Se puede concluir que para los tres nutrientes los valores vigentes del límite B/Mo en las aguas de transición oligohalinas de la de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental son bastante coherentes con los límites correspondientes a las aguas continentales de la categoría ríos. La coherencia resulta aún mayor si se consideran los valores estimados en este estudio para el tramo oligohalino mediante el P75.

6.

Resumen

Con el objeto de evaluar los límites de cambios de clase de nutrientes (fosfato, nitrato y amonio) vigentes en la actualidad para las masas de agua de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental se han estudiado las relaciones entre las concentraciones de nutrientes y las de clorofila-a y se han aplicado diferentes ajustes estadísticos propuestos por el grupo de trabajo ECOSTAT.

En esta propuesta de revisión de los límites de cambios de clase de nutrientes se prioriza el mejor ajuste posible del límite “Bueno/Moderado”, es decir, el que determina el cumplimiento de los objetivos de la DMA. La determinación del límite “Muy bueno/Bueno” queda supeditada al método de ajuste seleccionado para el límite “Bueno/Moderado”, evitando así potenciales incoherencias de los resultados a pesar de que los datos empleados sean los mismos. La comparación de los límites calculados por diferentes métodos de ajuste a partir de las relaciones entre nutrientes y clorofila-a con los límites R.D. 1/2016 permite concluir que:

- Para el **fosfato**, los valores R.D. 1/2016 para el límite “Bueno/Moderado” se encuentran en el rango de los límites estimados para los cuantiles (P50-P75), mientras que es más estricto que los límites estimados mediante la regresión LOESS, algunos de los cuales, además, deben considerarse con precaución. No se puede concluir una pauta clara con respecto a los límites establecidos mediante la minimización de desajustes que, además, solo se han podido estimar para dos tramos salinos.
- Para el **nitrato**, los valores R.D. 1/2016 para el límite “Bueno/Moderado” son, en casi todos los casos, más estrictos que los límites estimados mediante cualquiera de los métodos de ajuste, salvo en los tramos polihalino y euhalino por el método de los cuantiles, concretamente para el P75, que proporciona valores similares. Además, varios de los límites estimados mediante la regresión LOESS y alguno de los derivados por el método de los cuantiles deben considerarse con precaución (aunque no para los mencionados tramos polihalino y euhalino). En el caso de los límites establecidos mediante la minimización de desajustes, solo se han podido estimar para dos tramos salinos.
- Para el **amonio**, los valores R.D. 1/2016 para el límite “Bueno/Moderado” son, en casi todos los casos, más estrictos que los límites estimados mediante cualquiera de los métodos de ajuste, salvo en los tramos euhalino y euhalino marino por el método de los cuantiles, concretamente para el P75, que proporciona valores similares, y en el tramo euhalino mar por el método de la regresión LOESS, con un valor también similar. También para el amonio varios de los límites estimados mediante la regresión LOESS deben considerarse con precaución (aunque no para el mencionado tramo euhalino marino). En el caso de los límites establecidos mediante la minimización de desajustes, solo se han podido estimar para dos tramos salinos.

Por lo tanto, globalmente el método de los cuantiles genera los valores más coherentes con los del R.D.

1/2016 y, además, los límites estimados con dicho método se hallan sujetos a menos limitaciones que los derivados de los otros métodos. Estos valores obtenidos mediante el método de los cuantiles se han comparado con los límites vigentes en otras aguas de transición y costeras de Europa:

- **Golfo de Bizkaia y Galicia.** Los límites estimados en este trabajo (tomando como referencia el basado en el P75) son superiores a los del resto de demarcaciones cantábricas y gallegas, pero esto no implica que sean más altos de lo adecuado. El hecho de que este ejercicio sea el primero que se hace en este ámbito para valorar si tales límites debieran ser modificados en función de las relaciones nutrientes-clorofila sugiere que las aparentes incoherencias entre los valores estimados en este estudio y los vigentes en otras zonas ponen más en duda los segundos que los primeros.

A este respecto, debe destacarse que la poca información disponible sobre la manera en que se establecieron las condiciones de referencia y los límites de clase para nutrientes del resto de las demarcaciones³ indica que no se basaron en relaciones nutrientes-clorofila. Resulta curioso que, para el resto de las demarcaciones, los límites “Bueno/Moderado” para la clorofila-a sean los mismos o muy parecidos entre diferentes tramos salinos de las aguas de transición, cuando en este tipo de sistemas, tanto por la distribución y abundancia de los nutrientes como por factores físicos (sobre todo el tiempo de renovación de las aguas), suelen darse mayores concentraciones de clorofila (y, por lo tanto, biomasa de fitoplancton) en las zonas interiores, de menor salinidad.

- **Atlántico nordeste.** Las grandes diferencias existentes entre los países del nordeste Atlántico en la manera en que los nutrientes se monitorizan y en la manera de calcular las métricas asociadas, así como en los métodos aplicados para establecer las condiciones de referencia y derivar los límites de clase, limita la comparación entre dichos límites. Apenas se ha podido constatar, aunque con las limitaciones expresadas, que los valores estimados en este estudio mediante el método de los cuantiles (P75) resultan comparables a los de Bélgica, Países Bajos y Reino Unido.
- **Ríos.** Los valores obtenidos en este estudio resultan muy coherentes con los límites correspondientes a las aguas continentales de la categoría ríos de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

La realización de un análisis como el de este trabajo para las masas de agua del resto de las demarcaciones españolas sería de mucho interés y permitiría valorar mejor hasta qué punto esta aproximación metodológica proporciona resultados coherentes con las diferencias oceanográficas y antrópicas existentes.

Parece oportuno que los resultados obtenidos en este estudio fueran reportados al grupo de trabajo ECOSTAT y que sean trasladados a la normativa de aplicación tal y como se plantea en el siguiente apartado.

³ tan solo se ha encontrado información a este respecto de las aguas de transición y costeras de Cantabria: Programa de asistencia técnica en temas relacionados con la gestión de los sistemas hídricos; Tomo II, Documentación para la elaboración del plan hidrológico. Aguas costeras y de transición de Cantabria”; elaborado por el Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria

7.

Conclusiones

Como conclusión de este estudio, se propone un cambio de los límites de clase de nutrientes actualmente vigentes en las aguas de transición y costeras de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (RD 1/2016) por los obtenidos en este estudio mediante el método del cuantil P75.

En la Tabla 14 se presentan los límites propuestos para los tres nutrientes considerados, tanto para el límite “Muy bueno/bueno” (MB/B) como para el límite “Bueno/moderado” (B/Mo), junto con los límites actualmente vigentes.

Tabla 14 Límites de clase para **fosfato, nitrato y amonio**, en $\mu\text{mol/l}$, entre los estados “Muy bueno/bueno” (MB/B) y “Bueno/moderado” (B/Mo) según el RD 1/2016 (Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental; 2015 2021) y según la propuesta de este estudio calculados mediante el método del cuantil P75. Los límites propuestos en este estudio se presentan en negrita.

Categoría	Tipo	Tramo (salinidad)	Indicador	Límite MB/B RD 1/2016	Límite MB/B Propuesta	Límite B/Mo RD1/2016	Límite B/Mo Propuesta
Aguas de transición	AT-T08, AT-T09 y AT-T10	Oligohalino (0-5)	Amonio	$\leq 12,5$	$\leq 18,6$	≤ 28	$\leq 51,6$
			Nitrato	≤ 80	$\leq 52,3$	≤ 132	$\leq 121,5$
			Fosfato	$\leq 2,30$	$\leq 1,82$	$\leq 6,2$	$\leq 5,13$
		Mesohalino (5-18)	Amonio	≤ 11	$\leq 13,7$	≤ 22	$\leq 34,3$
			Nitrato	≤ 61	$\leq 34,3$	≤ 98	$\leq 121,3$
			Fosfato	$\leq 1,80$	$\leq 1,33$	$\leq 4,7$	$\leq 3,39$
		Polihalino (18-30)	Amonio	≤ 7	$\leq 7,5$	≤ 14	$\leq 18,6$
			Nitrato	≤ 33	$\leq 14,8$	≤ 50	$\leq 52,3$
			Fosfato	$\leq 1,00$	$\leq 0,72$	$\leq 2,5$	$\leq 1,82$
		Euhalino (30-34)	Amonio	≤ 5	$\leq 3,7$	≤ 9	$\leq 9,1$
			Nitrato	≤ 15	$\leq 5,5$	≤ 18	$\leq 19,6$
			Fosfato	$\leq 0,60$	$\leq 0,35$	$\leq 1,1$	$\leq 0,88$
Aguas costeras	AC-T12	Euhalino marino (>34)	Amonio	$\leq 3,5$	$\leq 2,4$	≤ 7	$\leq 6,7$
			Nitrato	≤ 7	$\leq 3,2$	≤ 8	$\leq 12,9$
			Fosfato	$\leq 0,55$	$\leq 0,23$	$\leq 0,7$	$\leq 0,65$

Bibliografía

- Bald, J., Borja, A., Muxika, I., Franco, J., Valencia, V., 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: A case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Mar. Pollut. Bull.* 50, 1508-1522.
- Borja, A., Belzunce, M.J., Franco, J., Garmendia, M., Muxika, I., Revilla, M., Valencia, V., 2009. Informe sobre zonas sensibles a la eutrofización en el País Vasco. Informe de la Fundación AZTI-Tecnalia para Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia, 193 pp.
- Devlin, M., Belin, C., Buchet, R., Best, M., Scanlon, C., Brito, A., Grage, A., Petri, G., O'Boyle, S., Wilkes, R., McDermott, G., Brozek, M., Revilla, M., Guinda, X., Gayoso, A., Johnsen, T., Naustvoll, L., Ruiter, H., Scory, S., De Cauwer, K., Skjevik, A.T., 2016. Intercalibration of biological elements for transitional water bodies. Report to ECOSTAT: on the intercalibration of chlorophyll a in transitional waters of the North East Atlantic (NEA) water bodies NEA 11. 89 pp.
- Devlin, M., Belin, C., Buchet, R., Best, M., Scanlon, C., Brito, A., Grage, A., Petri, G., O'Boyle, S., Wilkes, R., McDermott, G., Brozek, M., Revilla, M., Guinda, X., Gayoso, A., Johnsen, T., Naustvoll, L., Ruiter, H., Scory, S., de Cauwer, K., Skjevik, A.T., 2017. Intercalibration of biological elements for coastal water bodies. Report to ECOSTAT: on the intercalibration of chlorophyll a in coastal waters of the North East Atlantic (NEA) water bodies NEA 1/26 and NEA 3/4.
- Phillips, G., Kelly, M., Teixeira, H., Salas, F., Free, G., Leujak, W., Pitt, J., Lyche Solheim, A., Várbiro, G., Poikane, S., 2018. Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status, EUR 29329 EN, JRC112667. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Revilla, M., Borja, Á., Franco, J., Menchaca, I., Valencia, V., Zorita, I., 2011. Estudio de la sensibilidad a la eutrofización de los estuarios del País Vasco en 2010. Informe de AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia. 63 pp + Anexo.
- Revilla, M., Briz-Miquel, O., Carrillo de Albornoz, P., Escalona, M., García, P., Guinda, X., Pérez, P., Pérez, V., Rodríguez, N., Serret, P., 2008. Description of national methods included in the Intercalibration. Spain Member State Report for the Phytoplankton Element: Coastal Waters NEA 1/26 type. January 2, 2008. Technical Report.
- Revilla, M., Garmendia, J.M., Uriarte, A., Solaun, O., Zorita, I., Franco, J., 2014. Eutrofización en el medio marino del País Vasco: influencia antrópica e impactos sobre el fitoplancton. Informe elaborado por AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua. 120 pp.
- Revilla, M., Solaun, O., Menchaca, I., Zorita, I., Franco, J., Borja, Á., Valencia, V., Bald, J., 2017. Estudio de la sensibilidad a la eutrofización de los estuarios del País Vasco en 2017. Informe de AZTI-Tecnalia para la Agencia Vasca del Agua- Uraren Euskal Agentzia. 95 pp.
- Salas Herrero, F., Teixeira, H., Poikane, S., 2019. A Novel Approach for Deriving Nutrient Criteria to Support Good Ecological Status: Application to Coastal and Transitional Waters and Indications for Use. *Frontiers in Marine Science* 6.
- Várbiro, G., Teixeira, H., Kelly, M., Phillips, G., 2018. A Shiny application of a statistical toolkit to assist with the development of nutrient concentrations that would support good ecological status for the Water Framework Directive.

8.

Anexos

8.1. ANEXO I: REGRESIONES DE CUANTILES

En el presente anexo se exponen los resultados de los análisis de regresiones por cuantiles entre la concentración media de nutriente (media aritmética de seis medias anuales) y el percentil 90 de concentración de clorofila-a (calculado a partir de todos los valores medidos en una estación para un periodo de 6 años). En las figuras se representa en el eje X, la concentración del nutriente en $\mu\text{mol/l}$ (escala logarítmica) y, en el eje Y, la concentración de clorofila-a transformada (la transformación es mediante un escalado a un rango de 0.4-1 de los valores log-transformados). En línea verde horizontal se señala el límite “Bueno/Moderado” o el límite “Muy bueno/Bueno”. En total se representan cinco líneas, correspondiente al ajuste de cinco cuantiles (10, 25, 50, 75 y 90), de los cuales, en este informe únicamente se han utilizado el ajuste de cuantil 25 (señalado con línea azul) y el cuantil 50 (señalado en negro).

El análisis de regresión por cuantiles fue realizado para todo el conjunto de datos (esto, es no se segmentó por tipo de estación) con el software online de Várbíró et al. (2018), con acceso en los días 19-20 de noviembre de 2019.

Tabla A 1 Amonio. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Good/Moderated Predicted	681.85	285.47	120.78	51.57	23.49

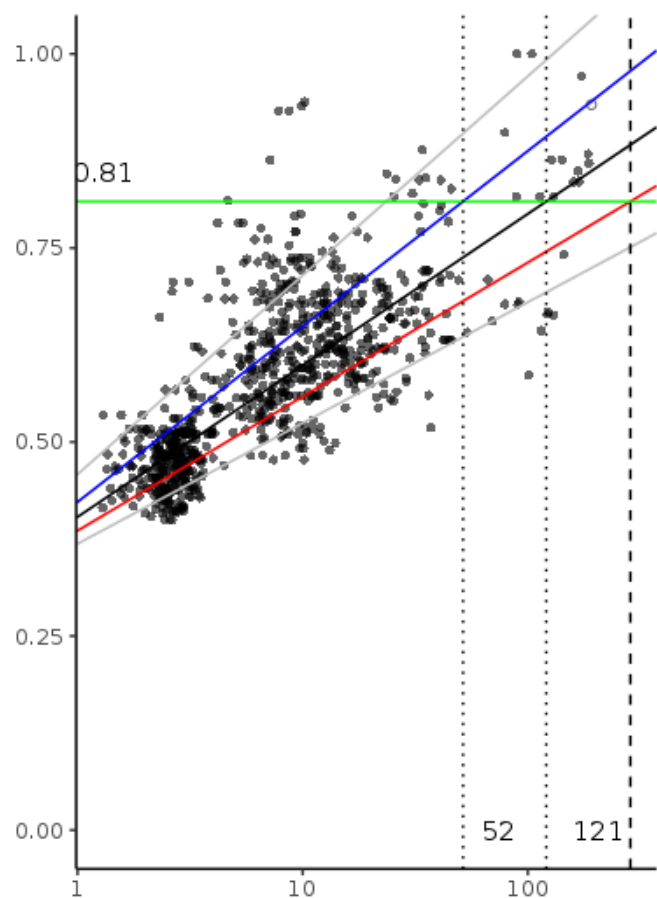


Tabla A 2 Amonio. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Good/Moderated Predicted	377.36	167.51	75.36	34.32	16.40

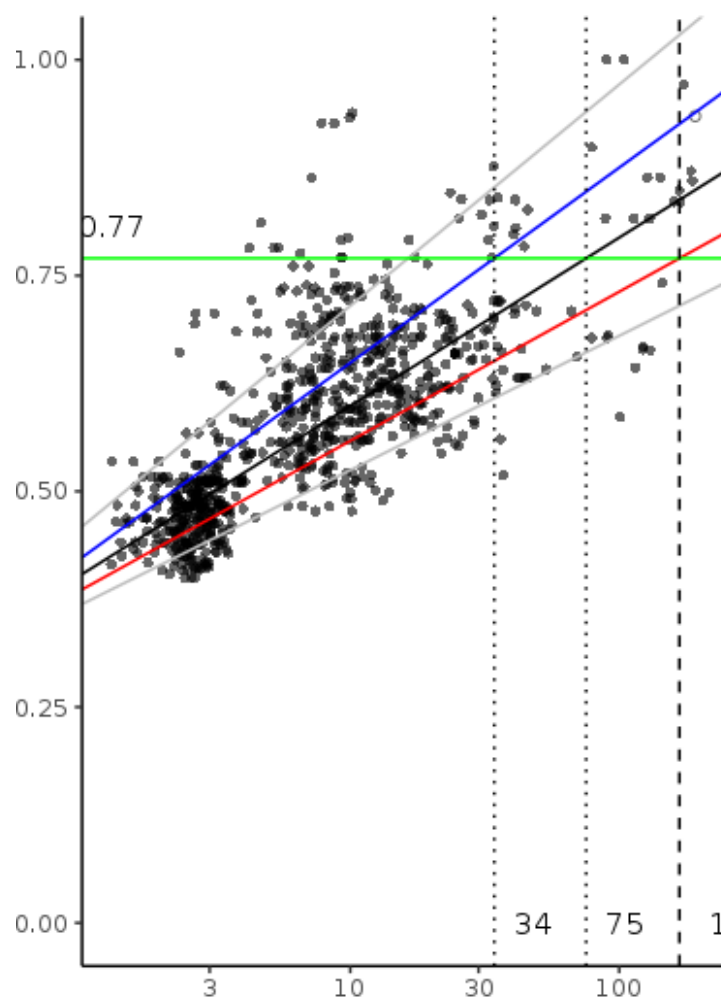


Tabla A 3 Amonio. Tramo salino: polihalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Good/Moderated Predicted	155.37	75.30	37.14	18.63	9.57

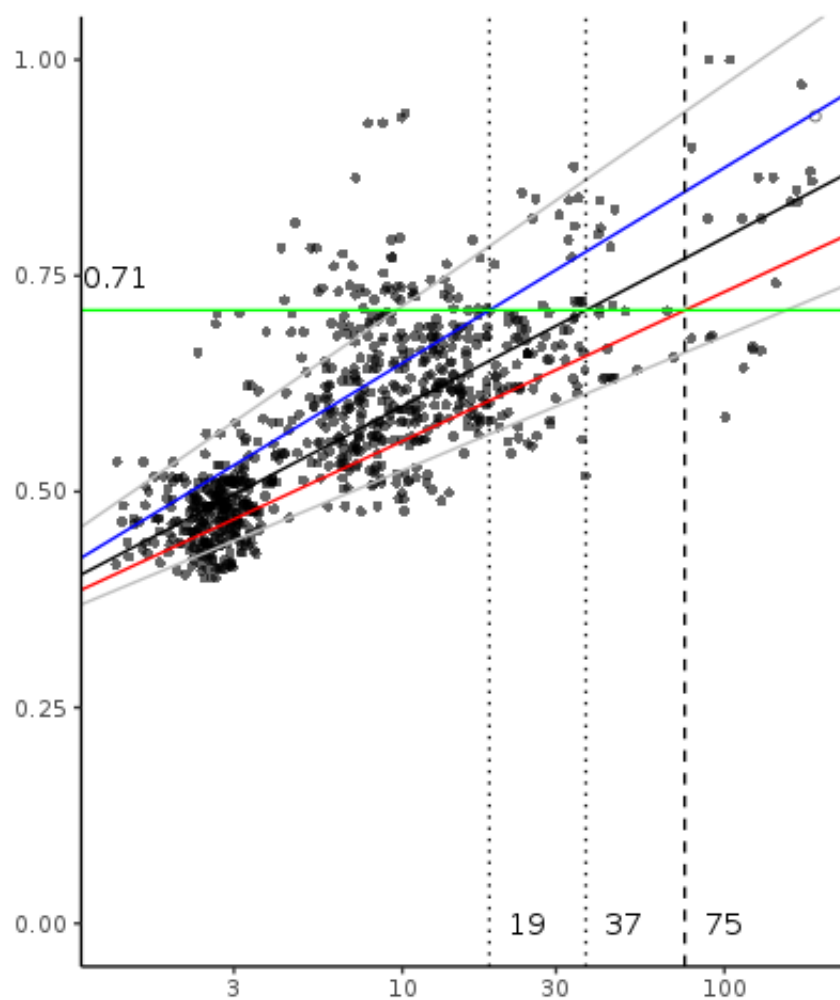


Tabla A 4 Amonio. Tramo salino: euhalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Good/Moderated Predicted	55.17	29.62	16.27	9.13	5.11

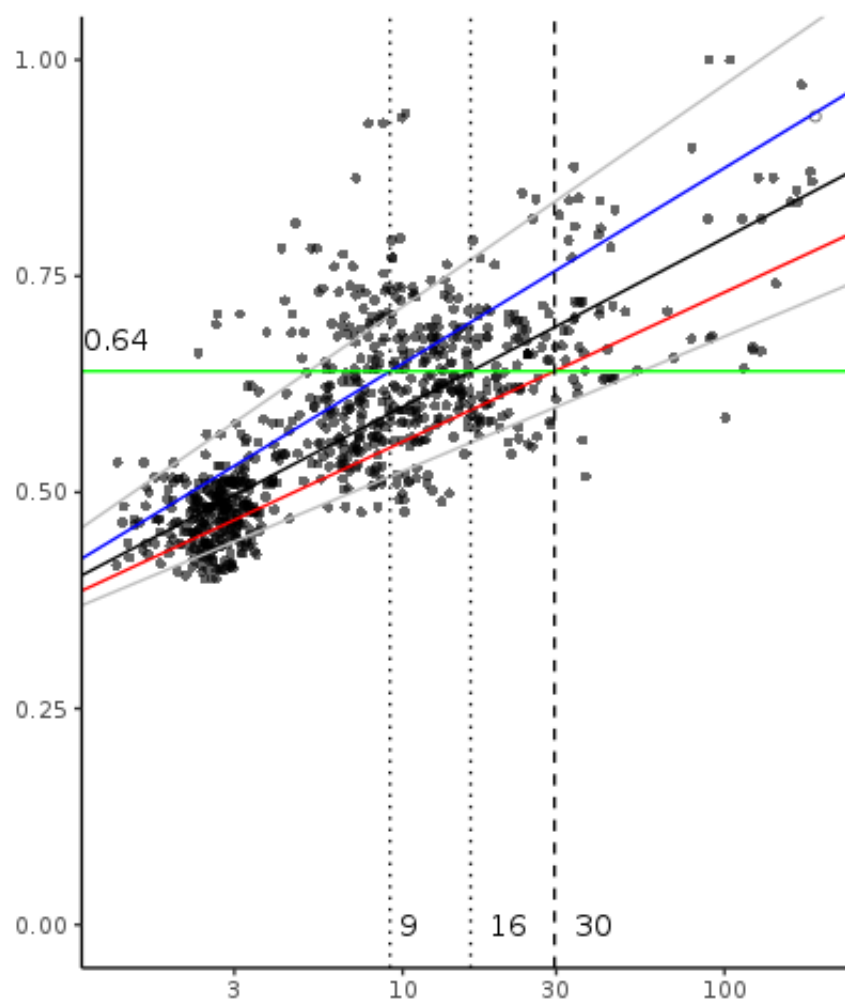


Tabla A 5 Amonio. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Good/Moderated Predicted	35.40	19.86	11.42	6.73	3.90

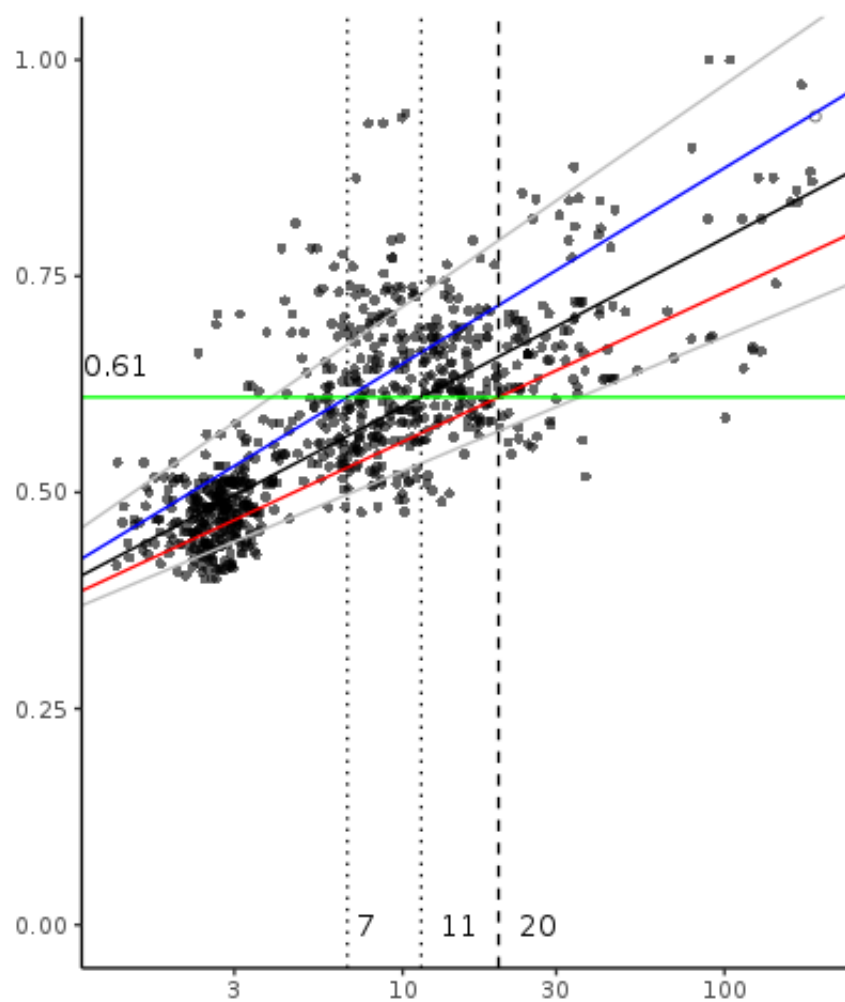


Tabla A 6 Amonio. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Very good/good Predicted	155.37	75.30	37.14	18.63	9.57

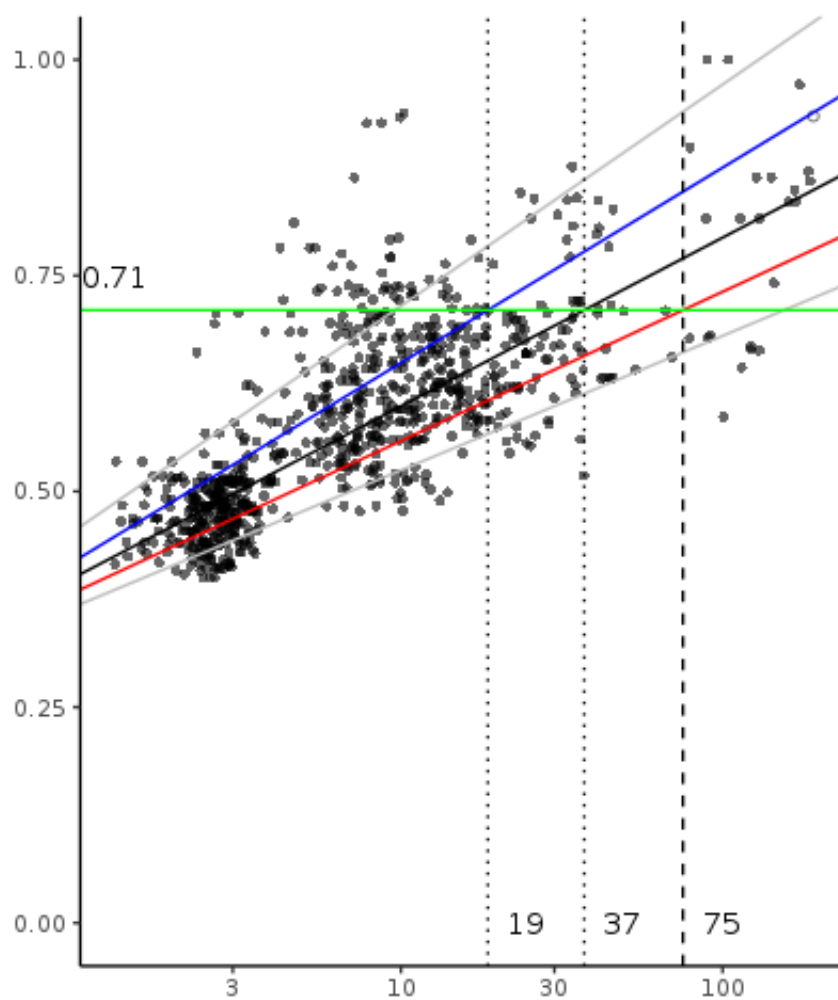


Tabla A 7 Amonio. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Very good/good Predicted	99.69	50.49	26.07	13.73	7.31

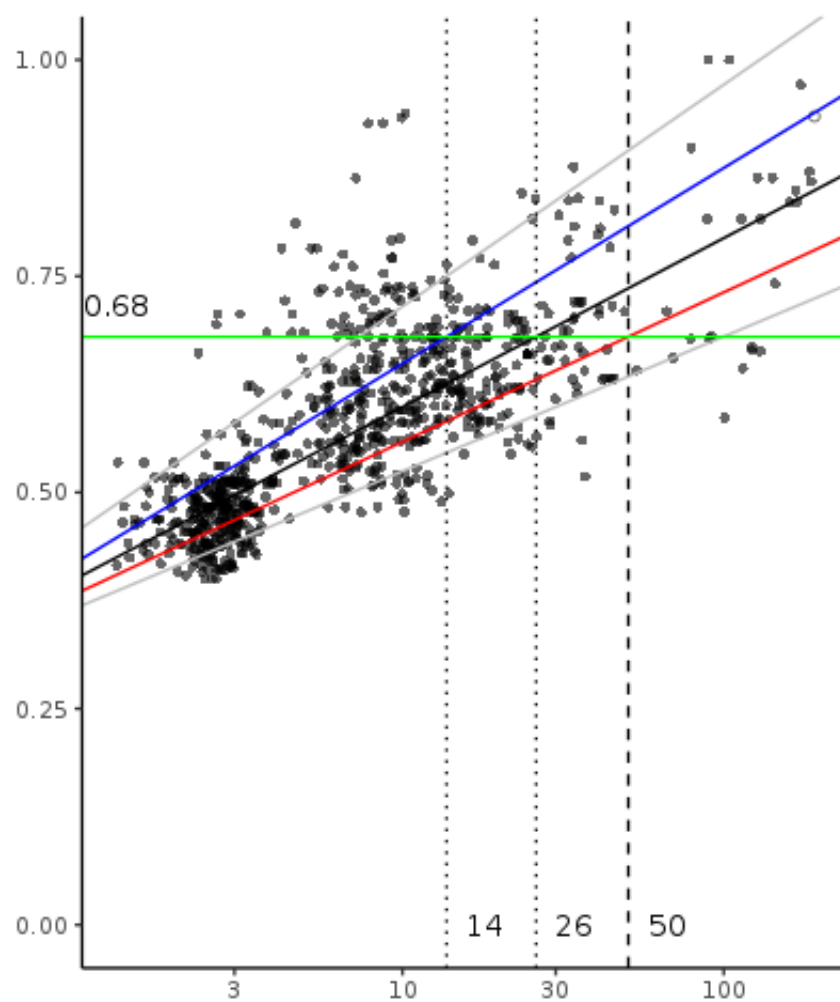


Tabla A 8 Amonio. Tramo salino: polihalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Very good/good Predicted	41.05	22.69	12.85	7.45	4.27

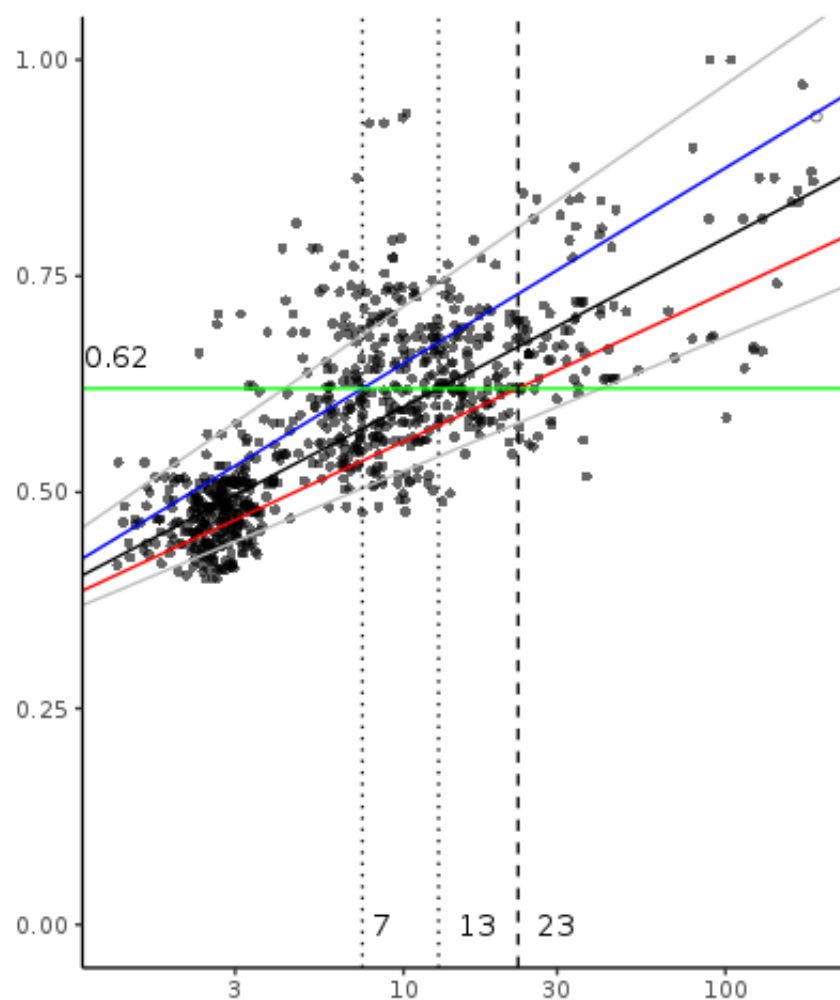


Tabla A 9 Amonio. Tramo salino: euhalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Very good/good Predicted	14.58	8.93	5.63	3.65	2.28

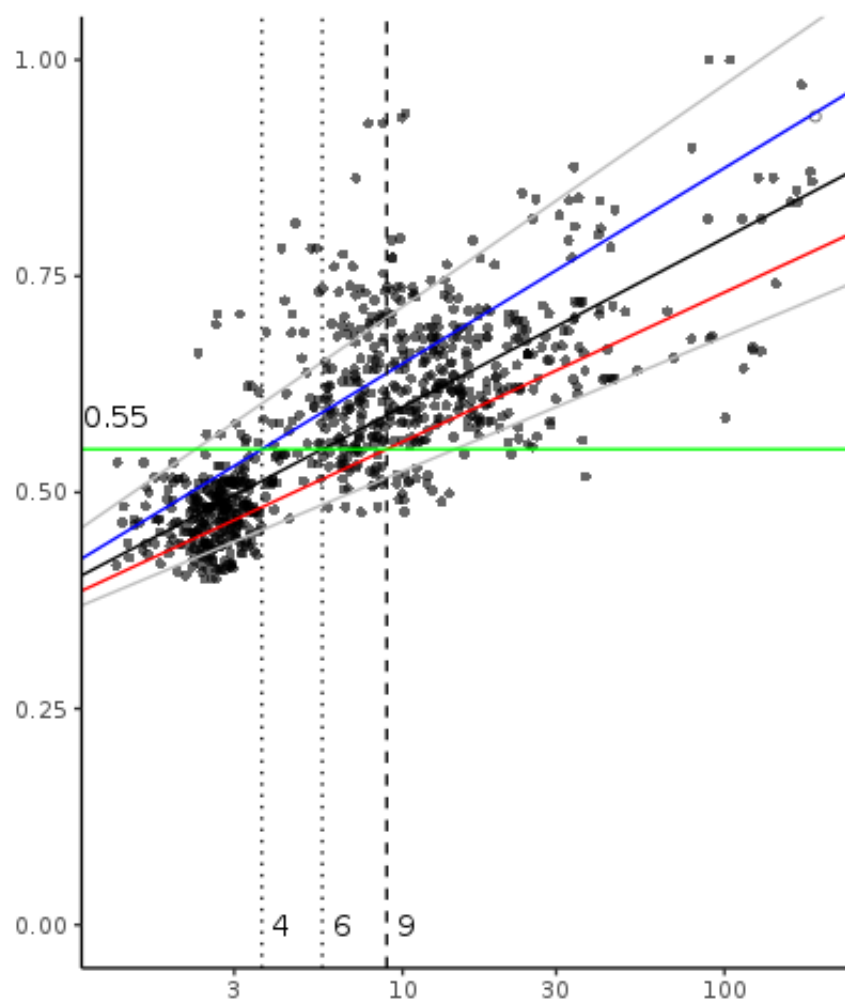


Tabla A 10 Amonio. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.16	0.17	0.20	0.23	0.26
Intercept	0.37	0.39	0.40	0.42	0.46
Very good/good Predicted	8.07	5.24	3.51	2.43	1.59

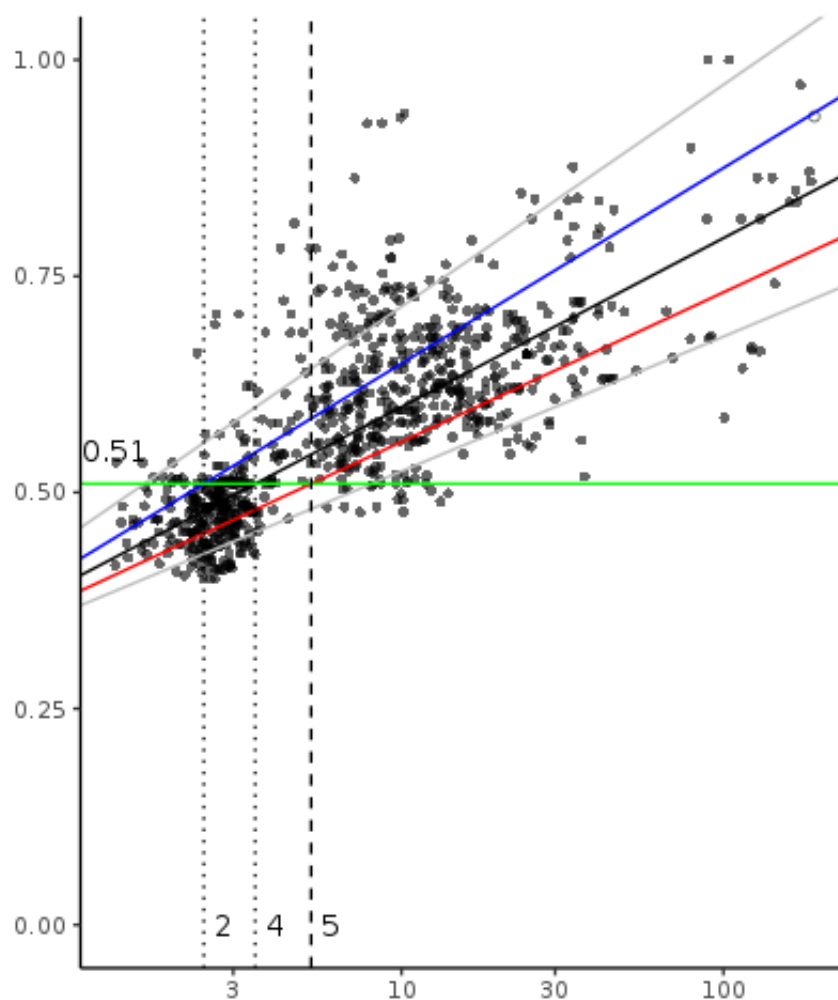


Tabla A 11 Fosfato. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Good/moderated Predicted	186.29	60.82	15.38	5.13	2.38

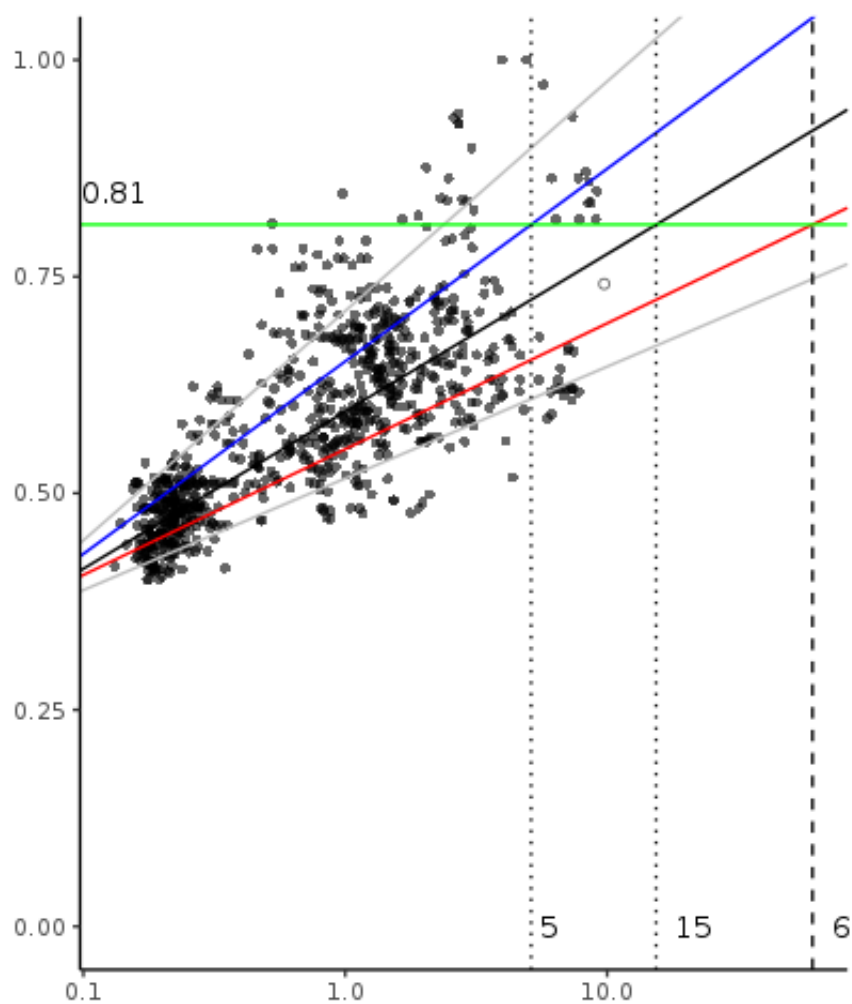


Tabla A 12 Fósforo. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Good/moderated Predicted	91.21	32.26	9.26	3.39	1.68

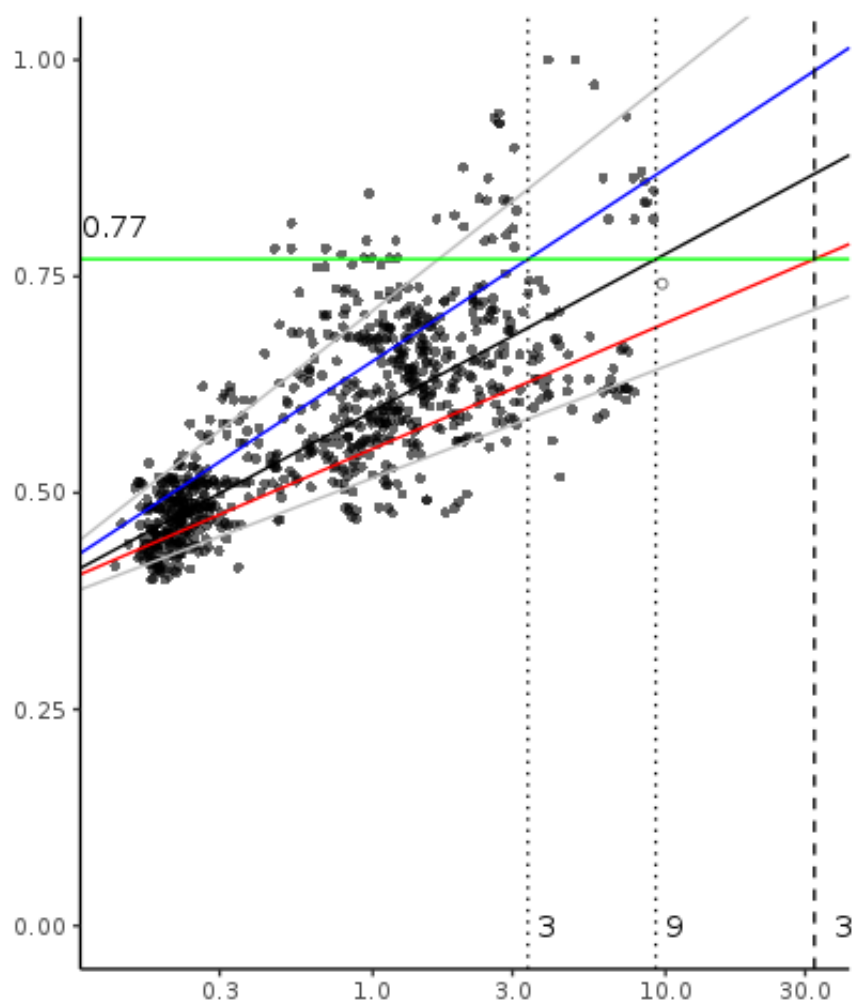


Tabla A 13 Fوسفato. Tramo salino: polihalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Good/moderated Predicted	31.25	12.46	4.33	1.82	1.00

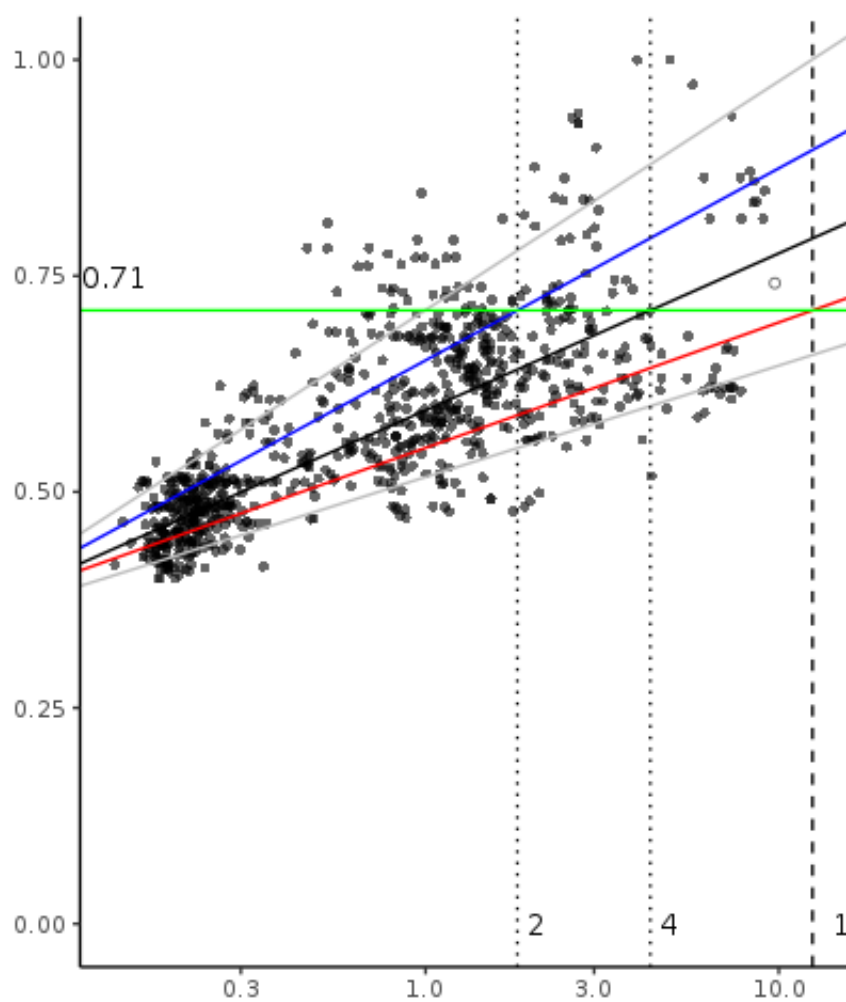


Tabla A 14 Fósforo. Tramo salino: euhalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Good/moderated Predicted	8.96	4.11	1.78	0.88	0.54

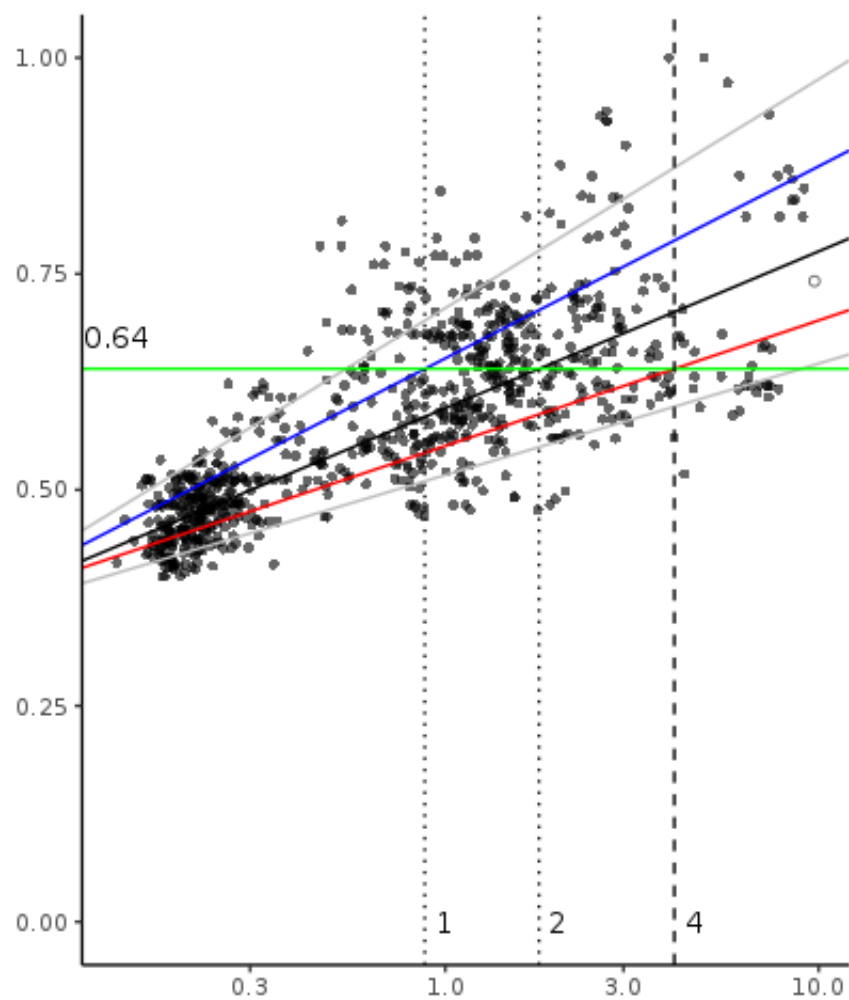


Tabla A 15 Fósforo. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Good/moderated Predicted	5.24	2.55	1.22	0.65	0.42

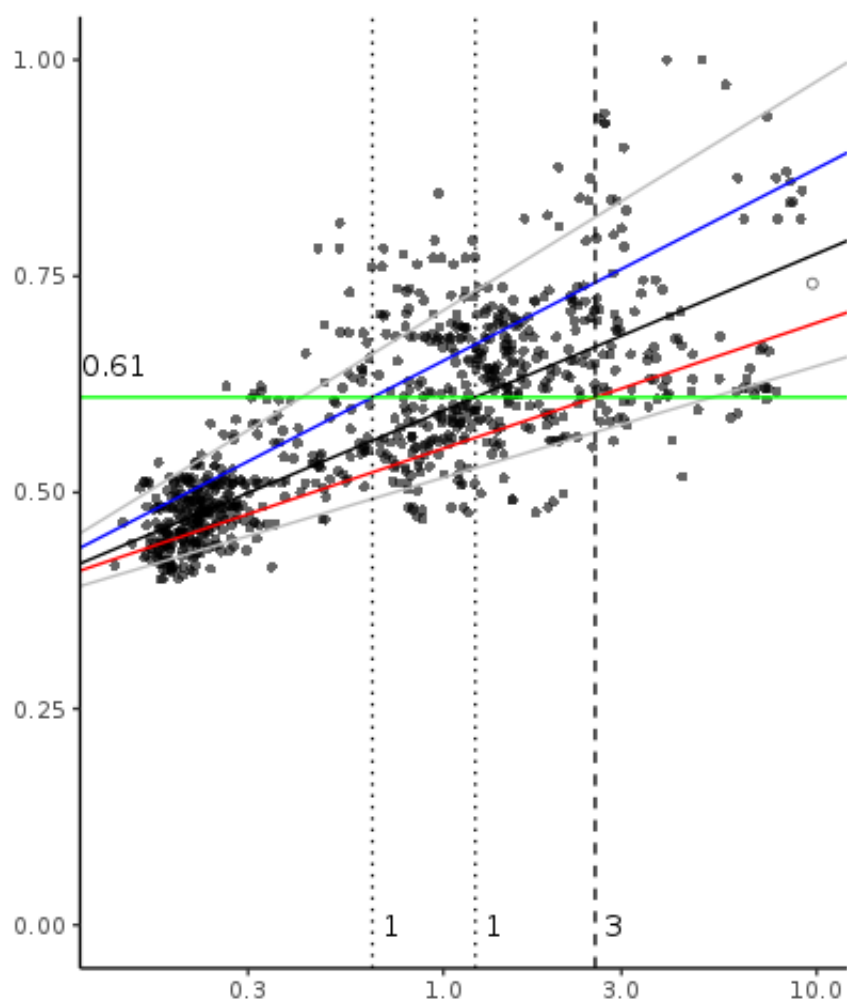


Tabla A 16 Fósforo. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Very good/good Predicted	31.25	12.46	4.33	1.82	1.00

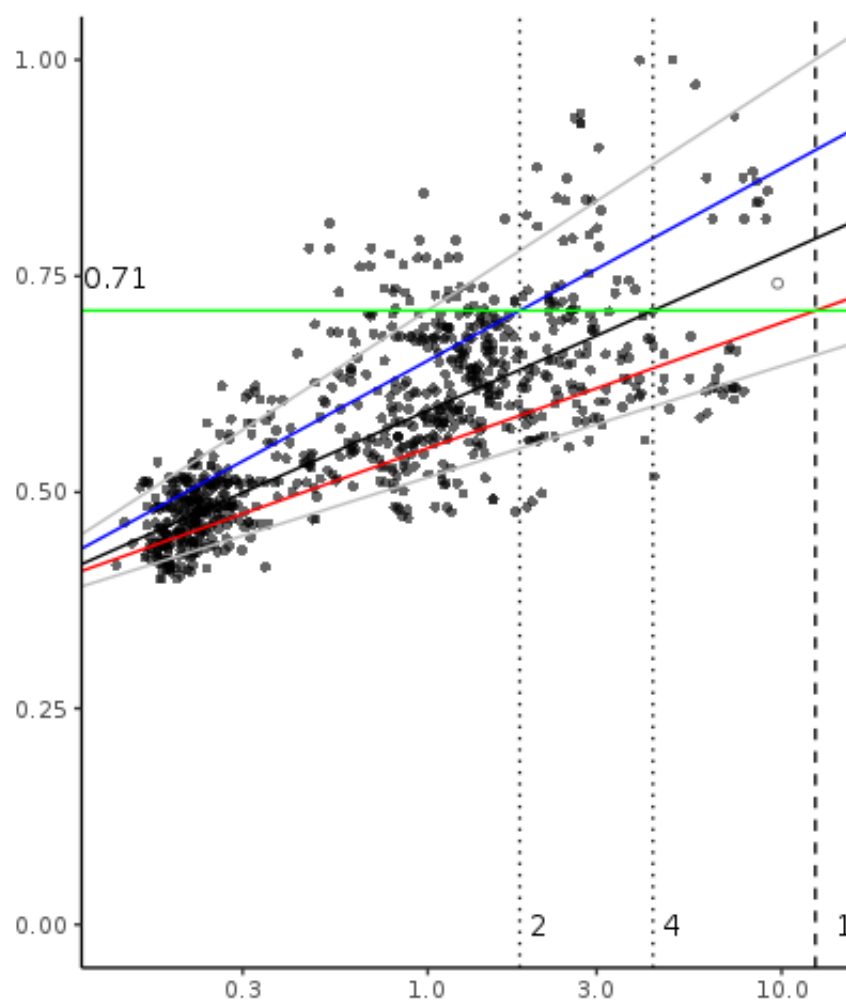


Tabla A 17 Fosfato. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Very good/good Predicted	18.29	7.74	2.96	1.33	0.77

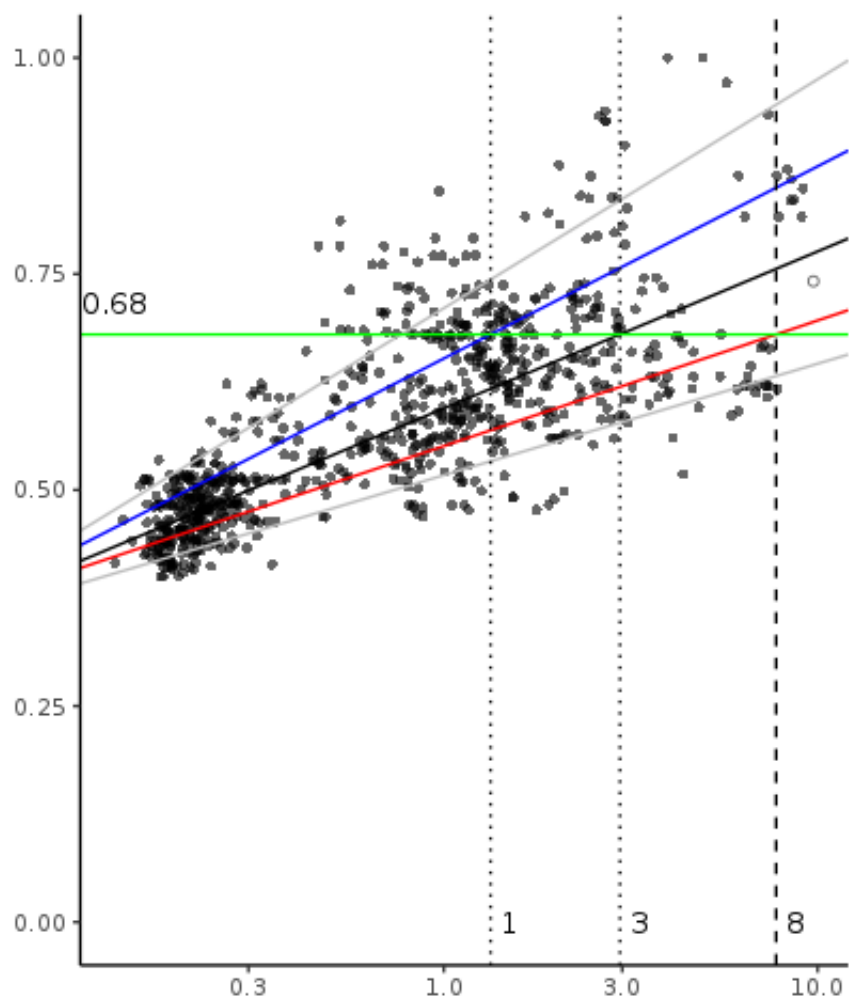


Tabla A 18 Fósforo. Tramo salino: polihalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Very good/good Predicted	6.27	2.99	1.38	0.72	0.46

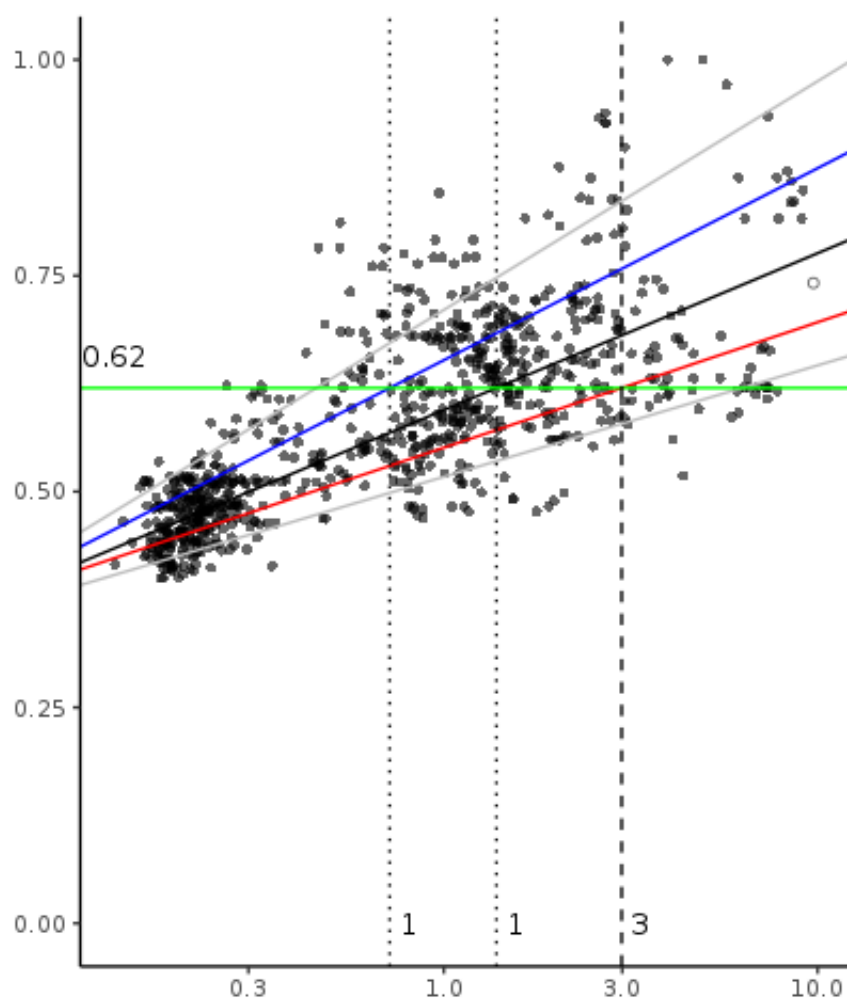


Tabla A 19 Fosfato. Tramo salino: euhalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Very good/good Predicted	1.80	0.99	0.57	0.35	0.25

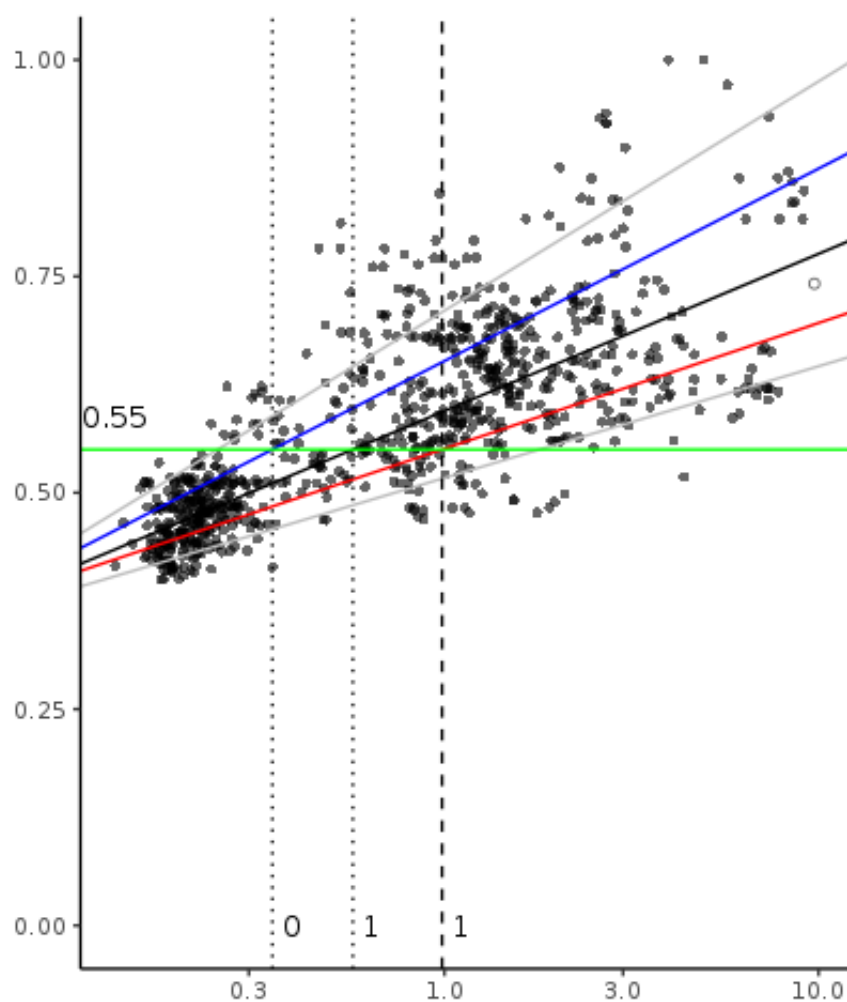


Tabla A 20 Fósforo. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
Intercept	0.52	0.55	0.59	0.65	0.71
Very good/good Predicted	0.88	0.52	0.34	0.23	0.18

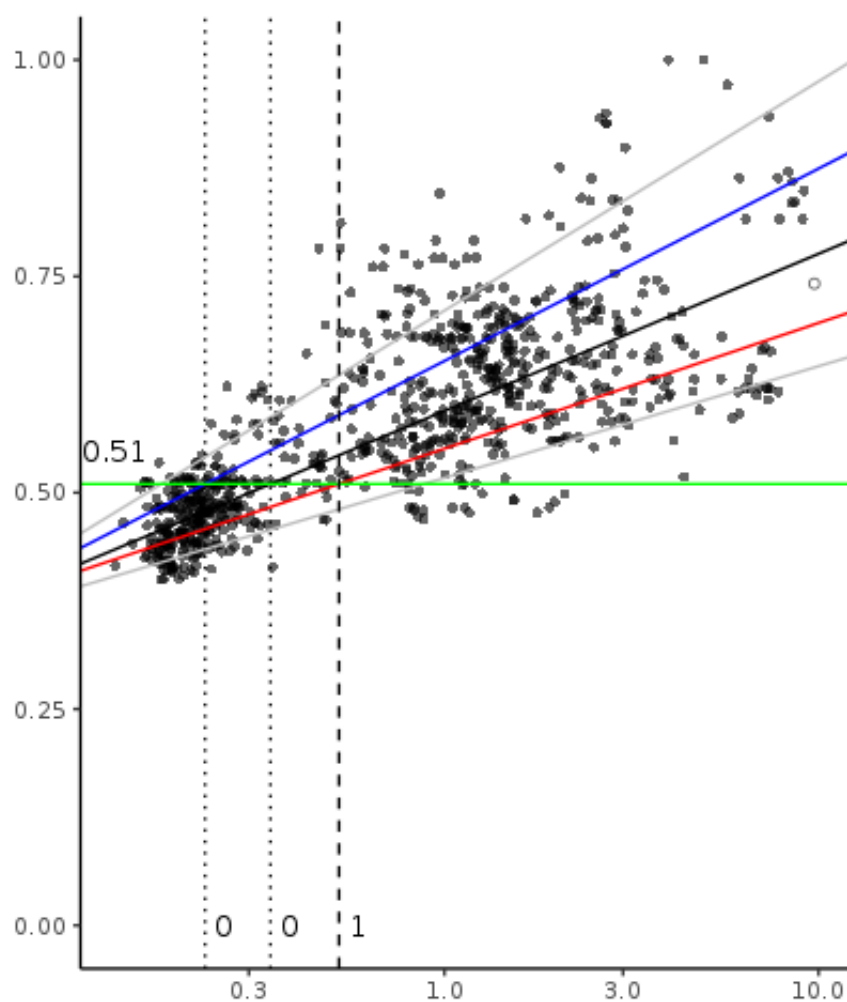


Tabla A 21 Nitrato. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Good/moderated Predicted	4526.18	2190.79	600.98	212.53	58.35

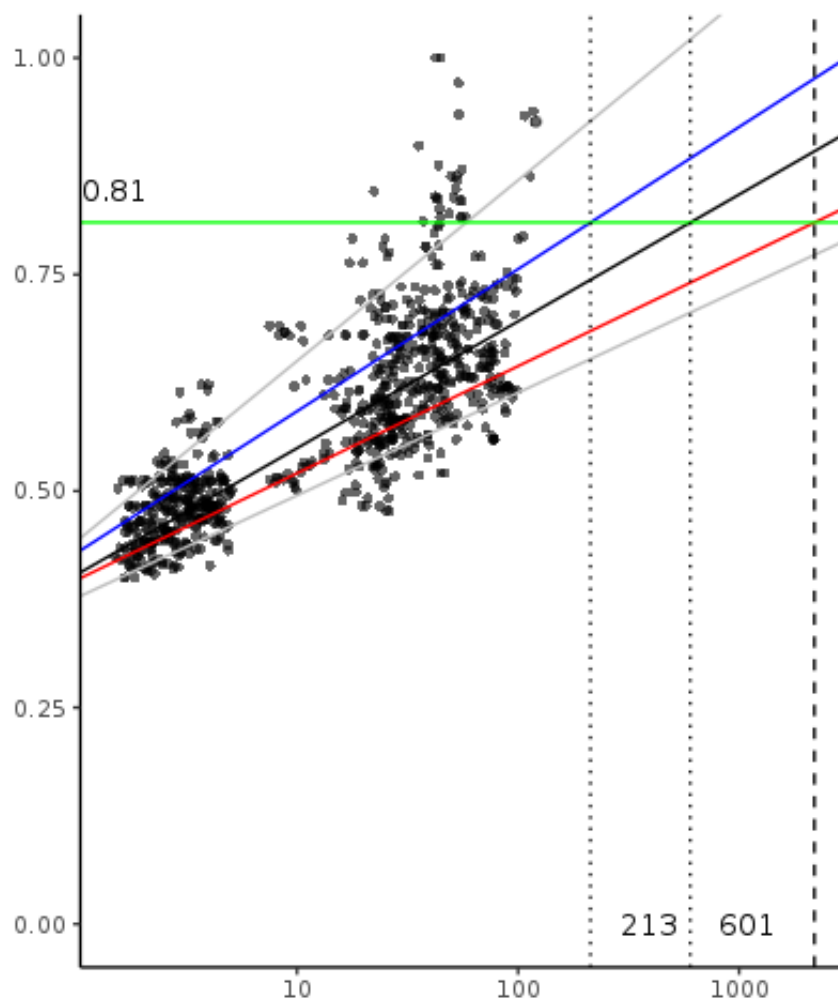


Tabla A 22 Nitrato. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Good/moderated Predicted	2082.27	1040.25	320.42	121.25	37.53

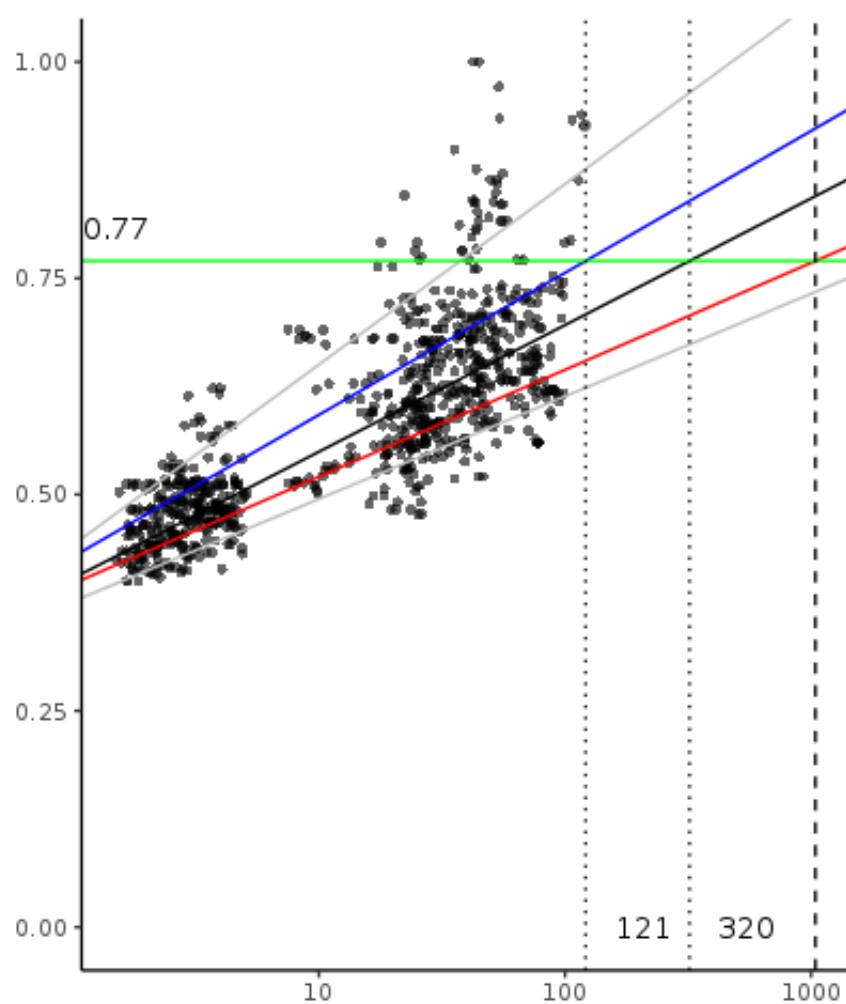


Tabla A 23 Nitrato. Tramo salino: polihalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Good/moderated Predicted	649.75	340.36	124.74	52.25	19.36

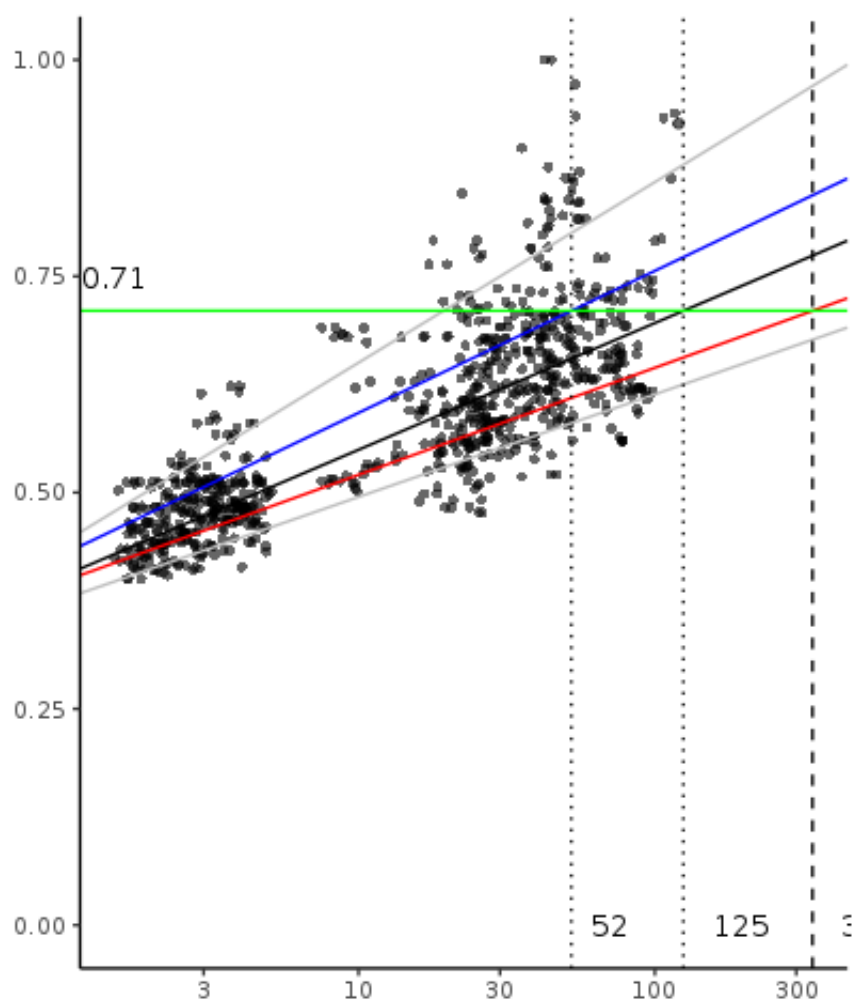


Tabla A 24 Nitrato. Tramo salino: euhalino. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Good/moderated Predicted	166.98	92.45	41.50	19.57	8.94

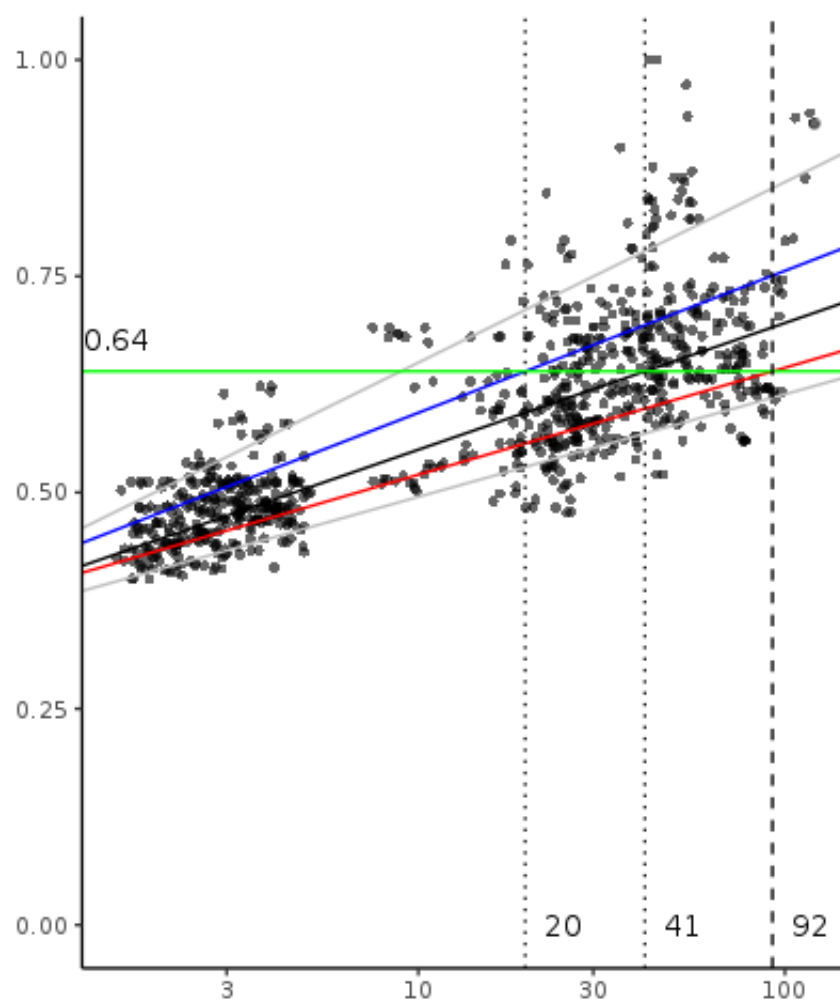


Tabla A 25 Nitrato. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Bueno/Moderado'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Good/moderated Predicted	93.27	52.88	25.89	12.85	6.42

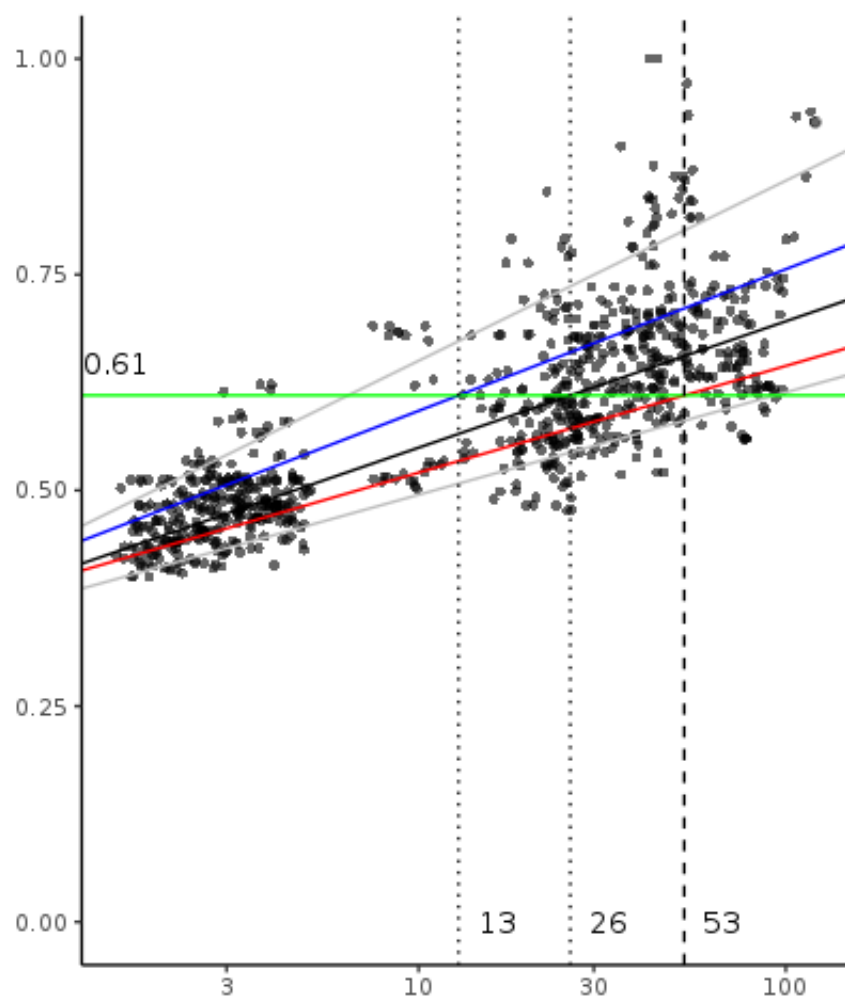


Tabla A 26 Nitrato. Tramo salino: oligohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Very good/good Predicted	649.75	340.36	124.74	52.25	19.36

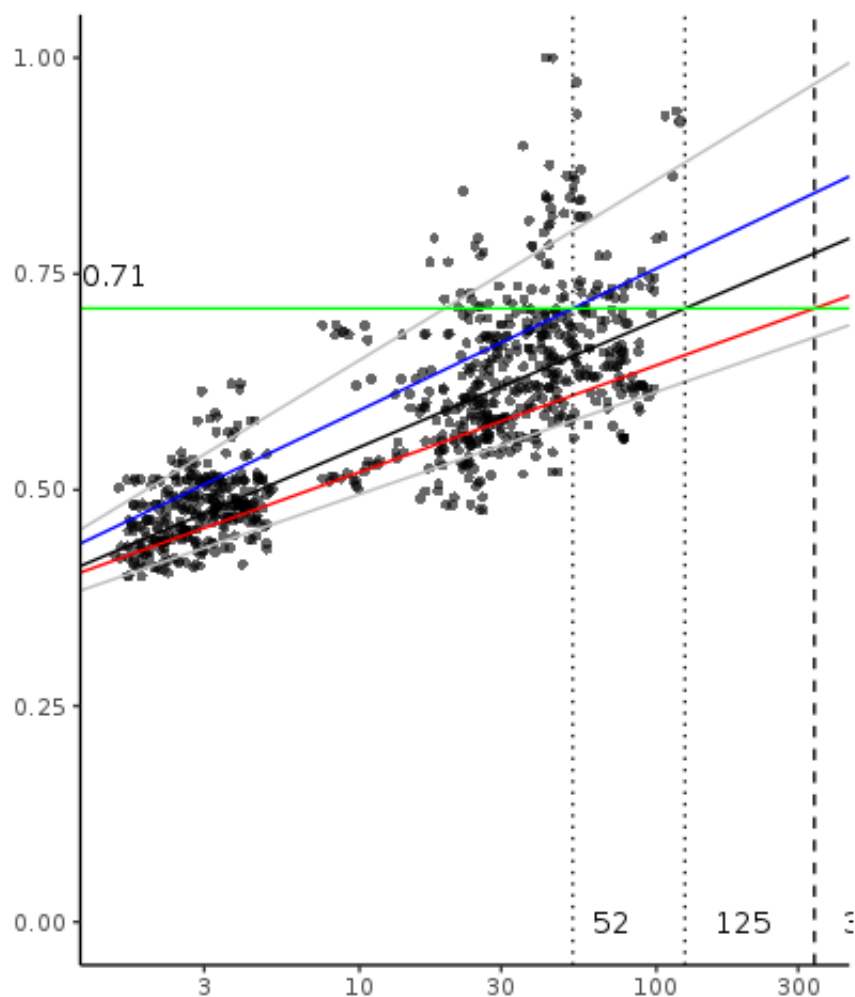


Tabla A 27 Nitrato. Tramo salino: mesohalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Very good/good Predicted	362.96	194.69	77.83	34.30	13.90

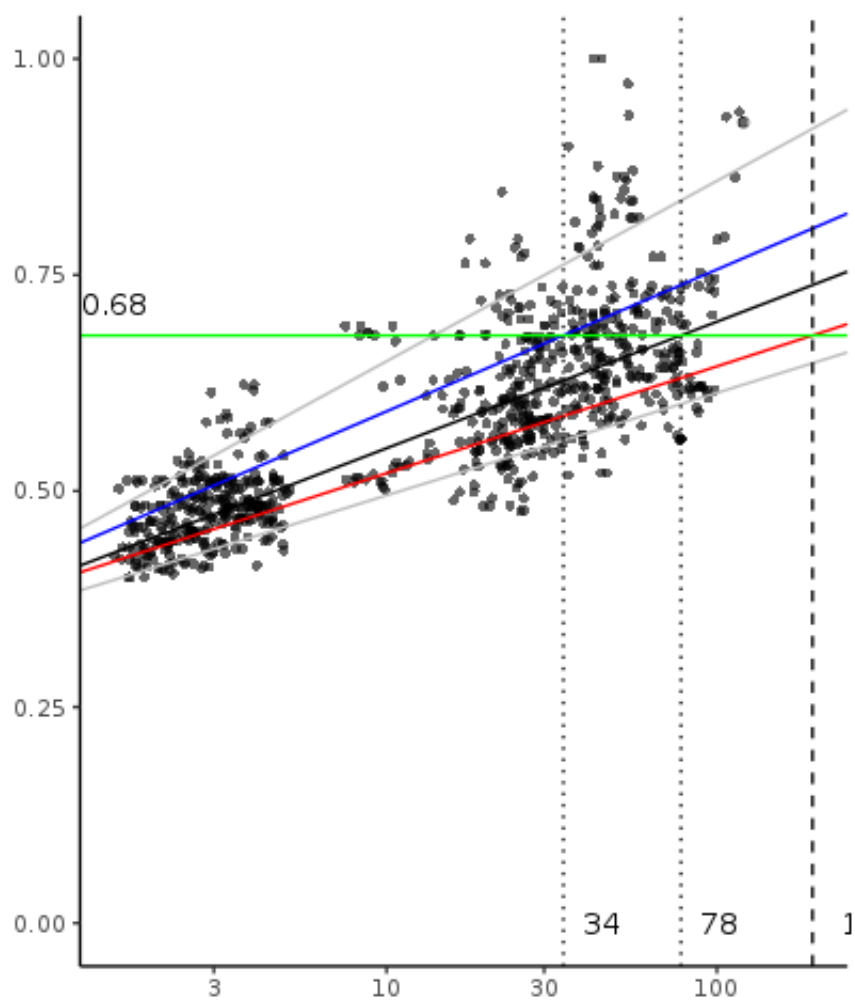


Tabla A 28 Nitrato. Tramo salino: polihalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Very good/good Predicted	113.26	63.70	30.30	14.78	7.17

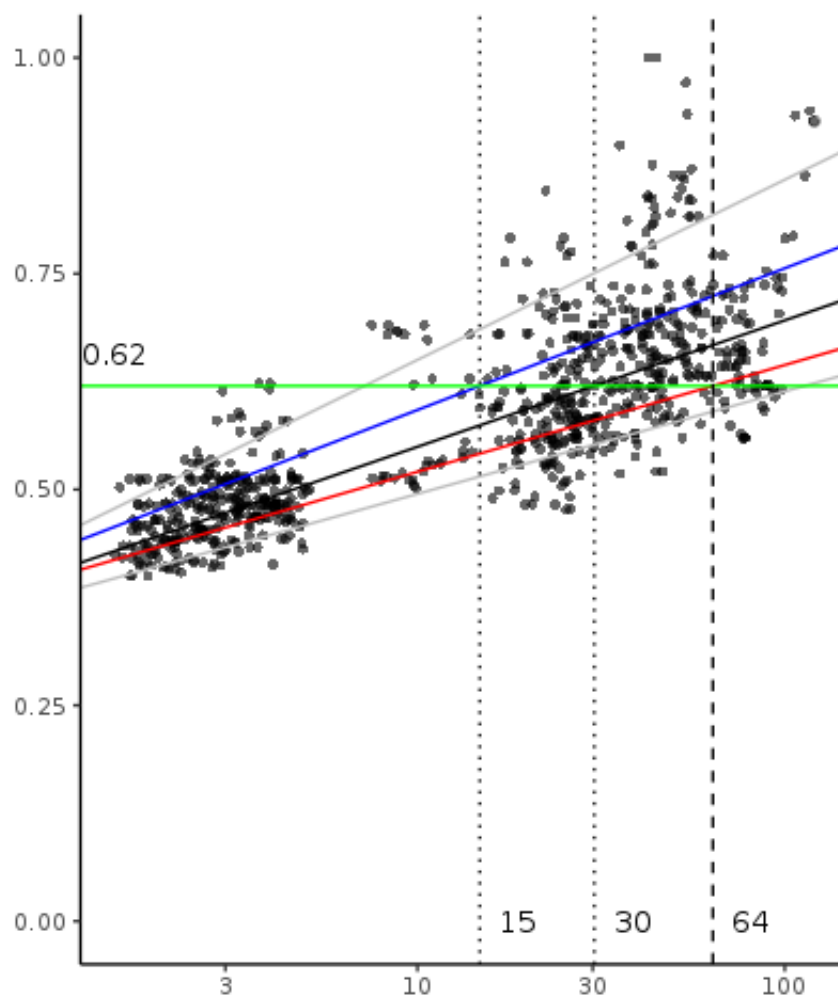


Tabla A 29 Nitrato. Tramo salino: euhalino. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Very good/good Predicted	29.11	17.30	10.08	5.54	3.31

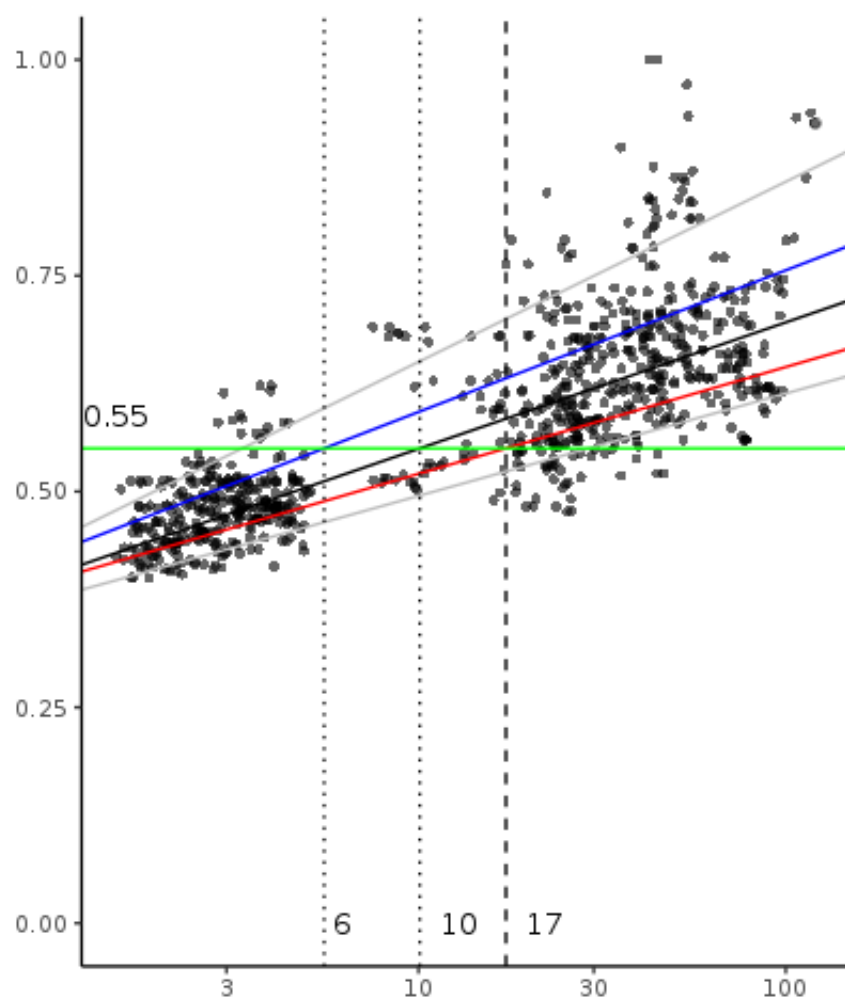
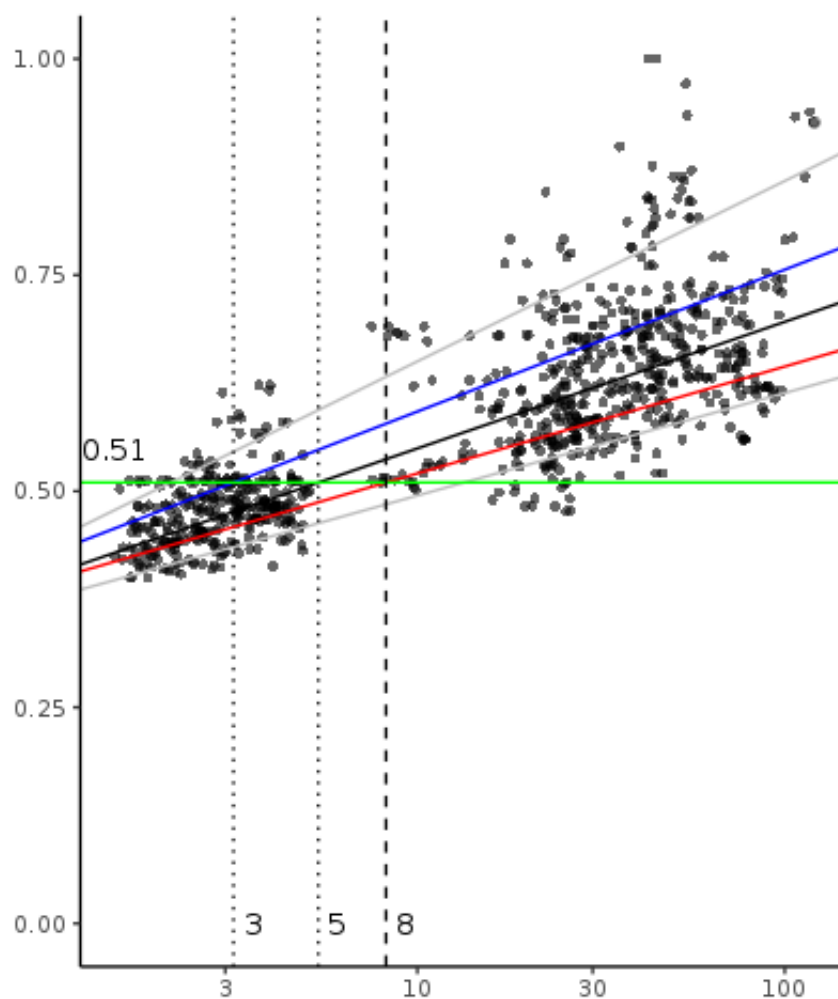


Tabla A 30 Nitrato. Tramo salino: euhalino mar. Límite 'Muy bueno/Bueno'.

	10th quartile class	25th quartile class	50th quartile class	75th quartile class	90th quartile class
Slope	0.12	0.12	0.15	0.16	0.21
Intercept	0.38	0.40	0.40	0.43	0.44
Very good/good Predicted	13.39	8.22	5.37	3.16	2.13



8.2. ANEXO II: MINIMIZACIÓN DEL DESAJUSTE ENTRE CLASIFICACIONES

En el presente anexo se exponen los resultados obtenidos a partir del análisis por minimización del desajuste entre las clasificaciones para el componente biológico y los nutrientes.

En este caso la información se ha segmentado por tramo salino, lo que supone un total de 5 análisis por nutriente.

En los gráficos se representa el grado de desajuste para cada una de las posibles concentraciones de nutrientes. El grado de desajuste se representa a través del porcentaje de datos observados que presentan valores de clorofila-a asignados a 'bueno o mejor que bueno' pero que presentan concentraciones de nutriente asignada a 'moderado o peor de moderado' y a través del porcentaje de datos observados que presentan valores de clorofila-a asignados a 'moderado o peor que moderado' pero que presentan concentraciones de nutriente asignada a 'bueno o mejor que bueno'.

El cruce ambos segmentos representa la concentración del nutriente dónde se produce el mínimo desajuste en la clasificación.

Destacar que en los tramos 'mesohalino', 'polihalino' y 'euhalino' no se ha podido calcular el límite 'Bueno/Moderado' de nutrientes debido a que el número de observaciones que supera el nivel 'Bueno/Moderado' de clorofila-a es muy bajo (Figura 35, Figura 36, Figura 38, Figura 40, Figura 41, Figura 43, Figura 45, Figura 46 y Figura 48).

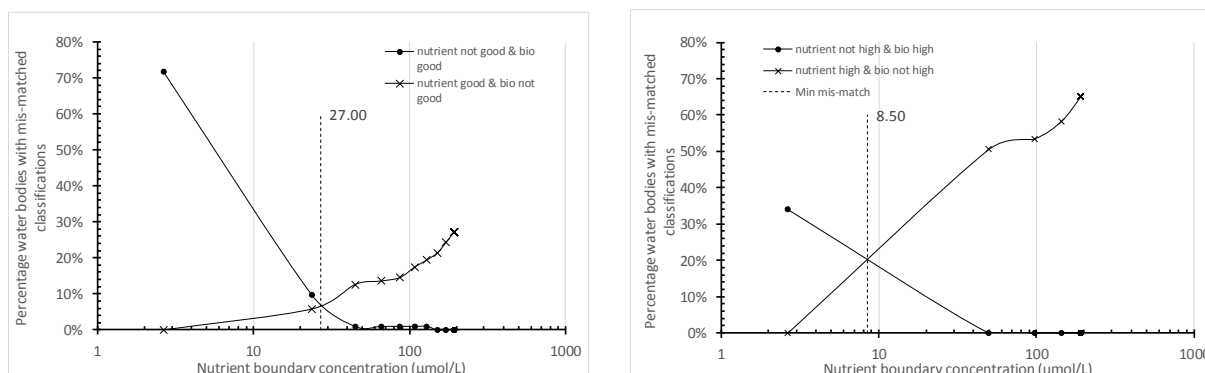


Figura 34 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **amonio** y EQR para el tramo **oligohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **amonio** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

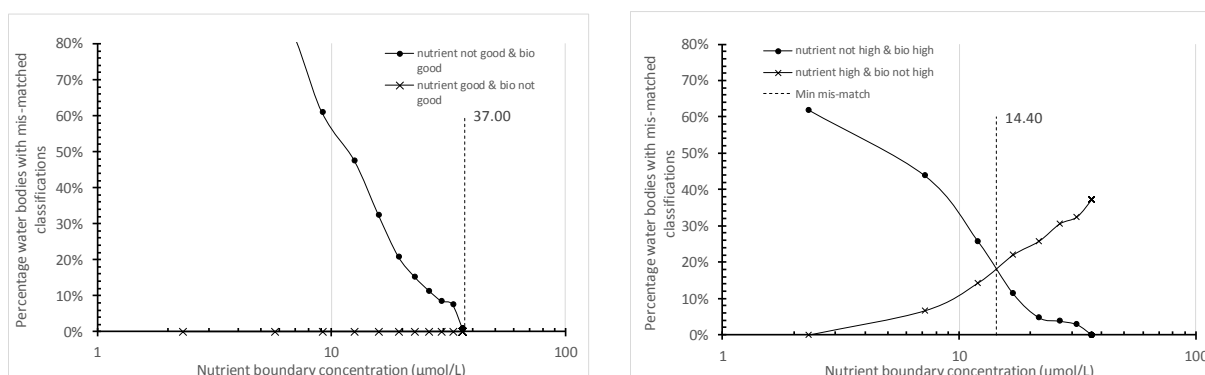


Figura 35 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **amonio** y EQR para el tramo **mesohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **amonio** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

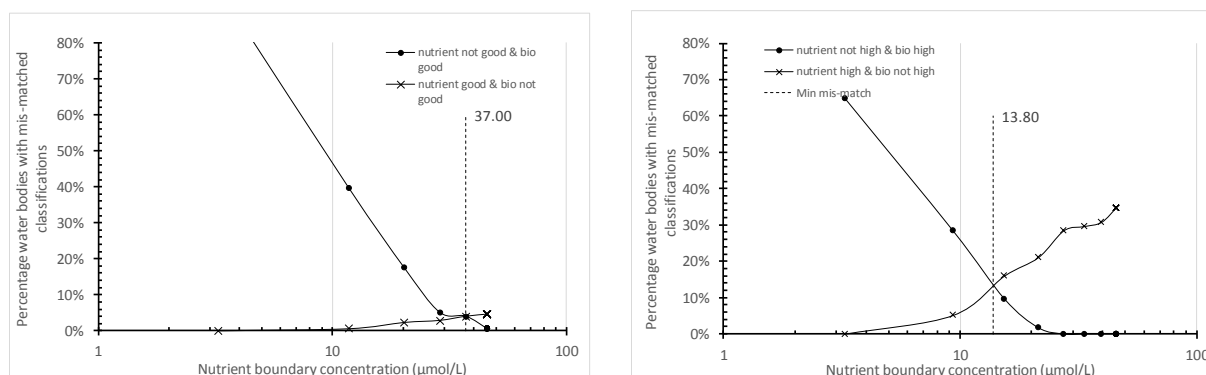


Figura 36 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **amonio** y EQR para el tramo **polihalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **amonio** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

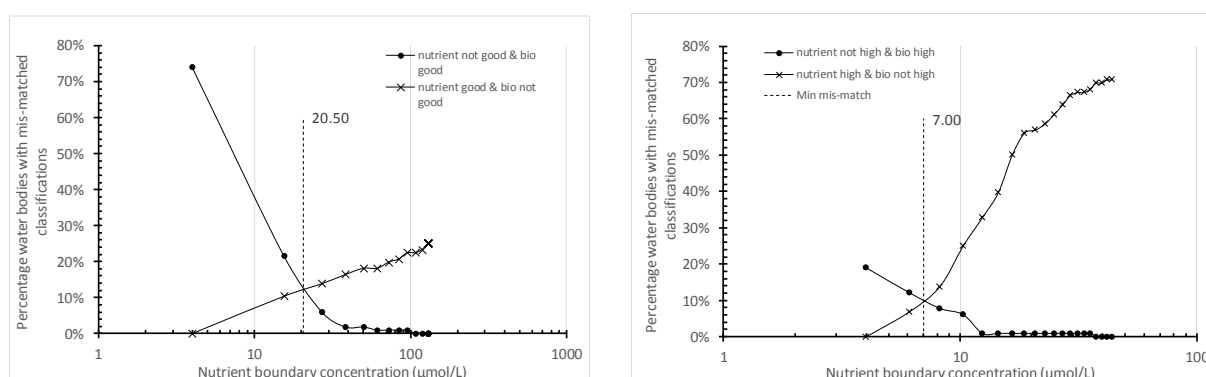


Figura 37 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **amonio** y EQR para el tramo **euhalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **amonio** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

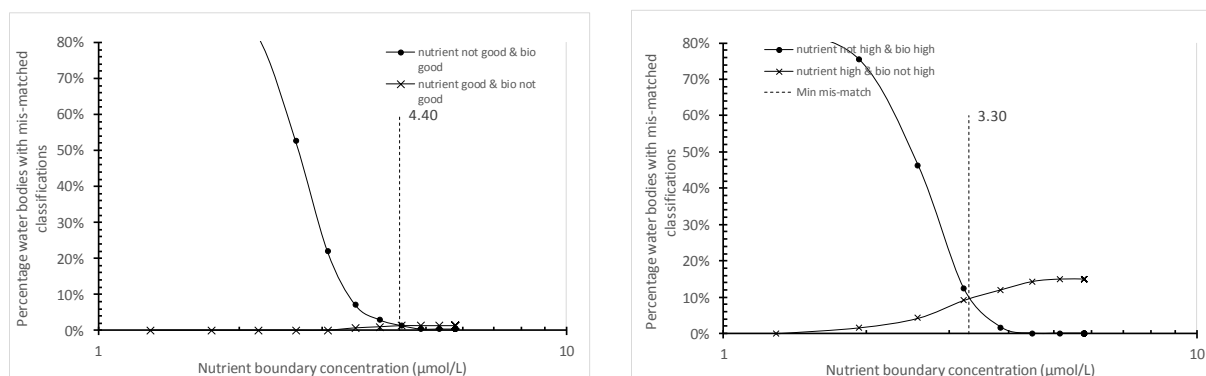


Figura 38 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **amonio** y EQR para el tramo **euhalino mar** y la aplicación de distintas concentraciones de **amonio** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

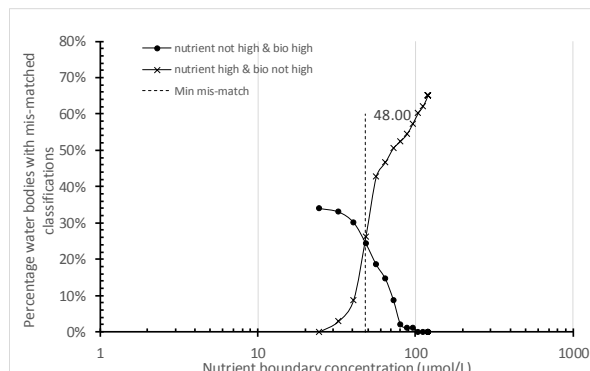
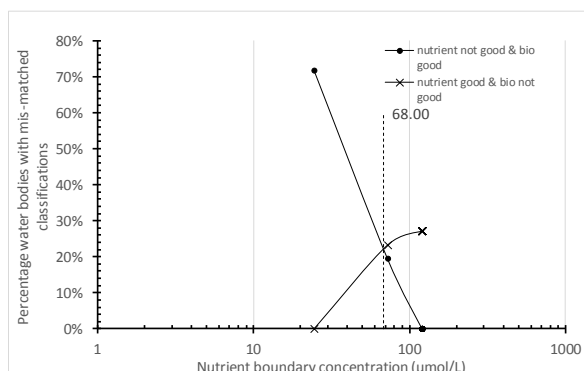


Figura 39 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **nitrato** y EQR para el tramo **oligohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **nitrato** como límite (a) “Bueno/Moderado” y (b) “Muy bueno/Bueno”. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

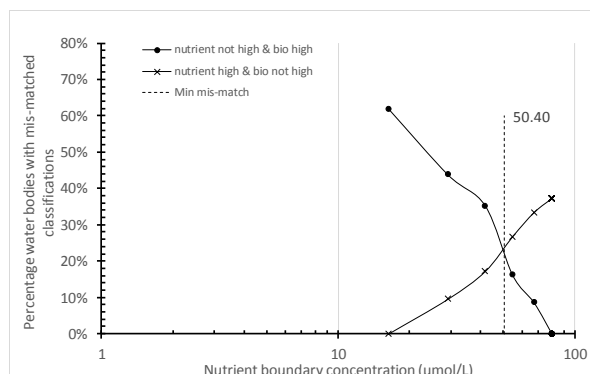
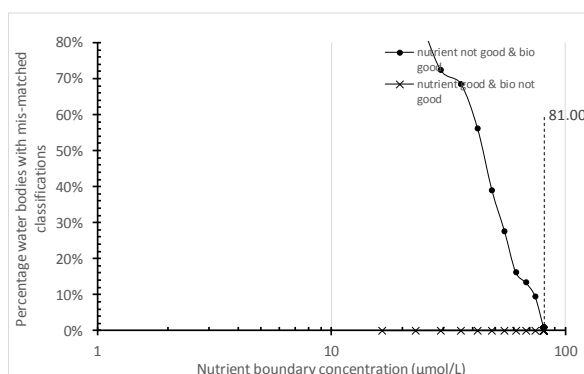


Figura 40 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **nitrato** y EQR para el tramo **mesohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **nitrato** como límite (a) “Bueno/Moderado” y (b) “Muy bueno/Bueno”. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

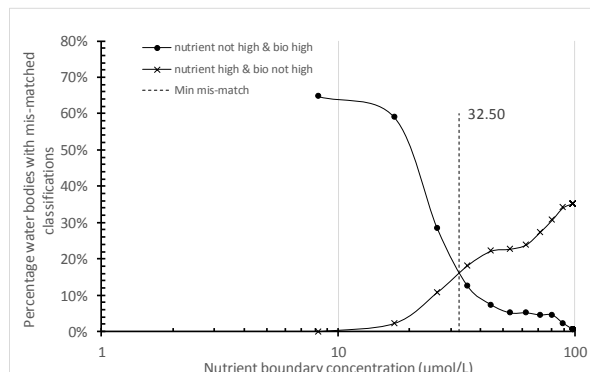
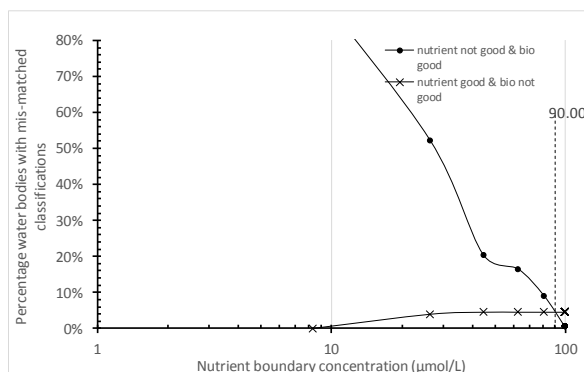


Figura 41 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **nitrato** y EQR para el tramo **polihalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **nitrato** como límite (a) “Bueno/Moderado” y (b) “Muy bueno/Bueno”. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

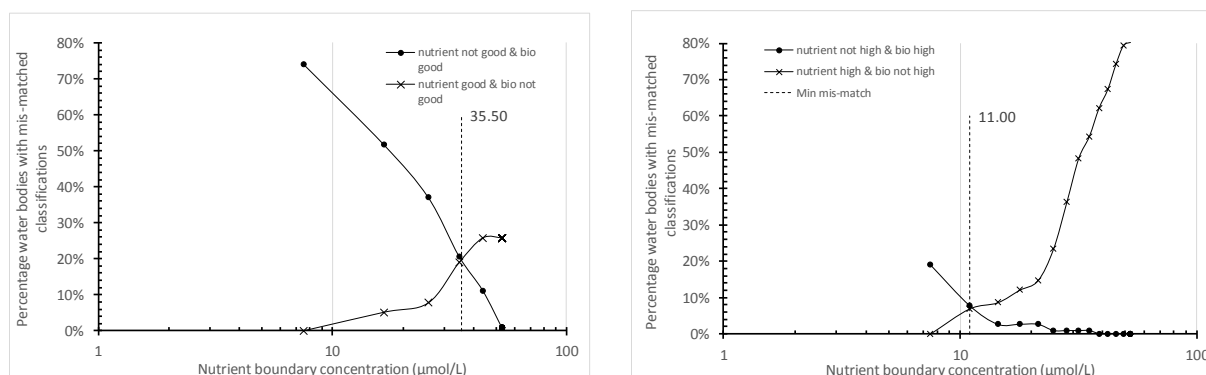


Figura 42 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **nitrato** y EQR para el tramo **euhalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **nitrato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

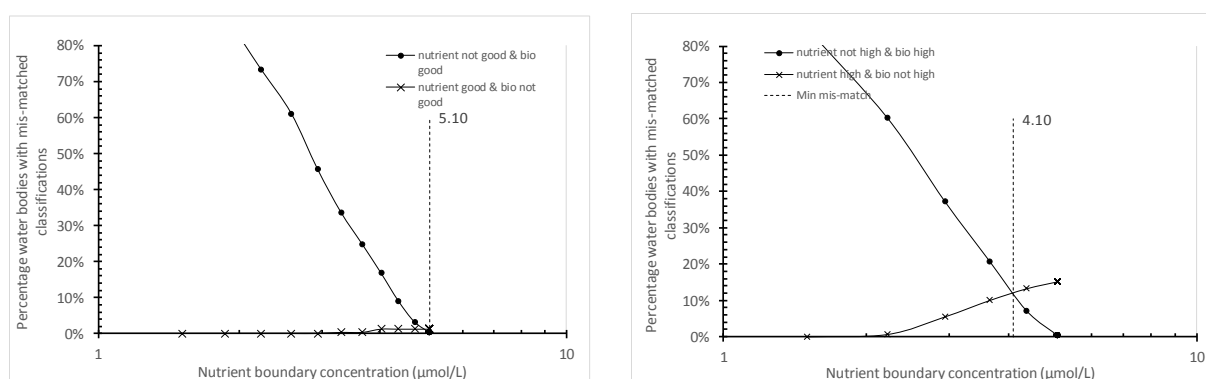


Figura 43 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **nitrato** y EQR para el tramo **euhalino mar** y la aplicación de distintas concentraciones de **nitrato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

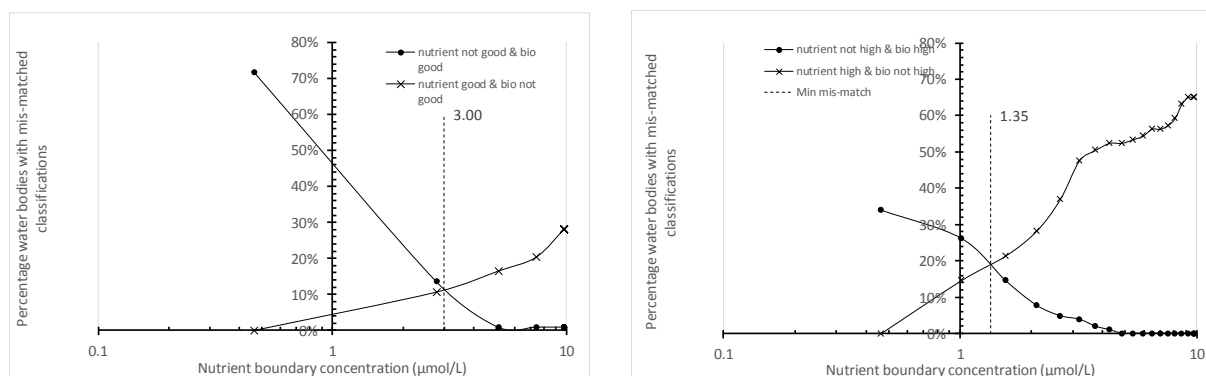


Figura 44 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **fosfato** y EQR para el tramo **oligohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **fosfato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

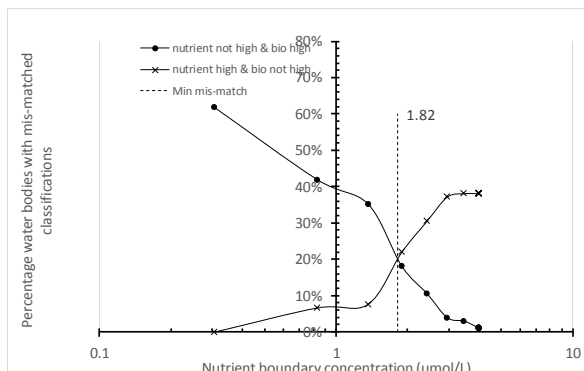
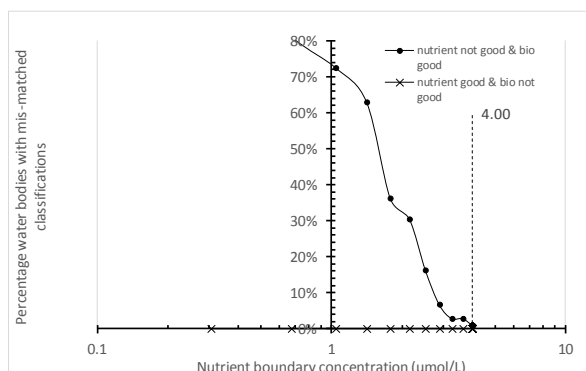


Figura 45 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **fosfato** y EQR para el tramo **mesohalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **fosfato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

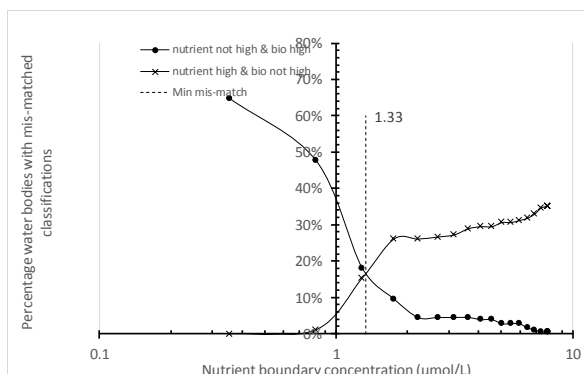
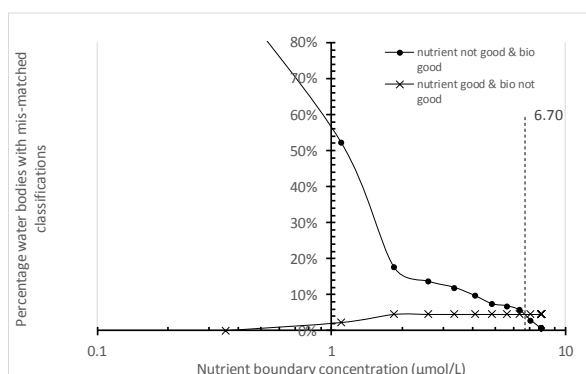


Figura 46 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **fosfato** y EQR para el tramo **polihalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **fosfato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

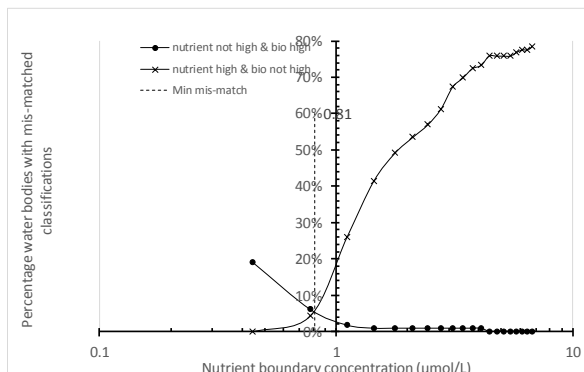
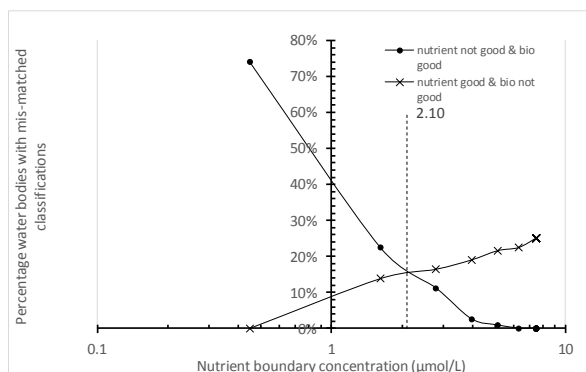


Figura 47 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **fosfato** y EQR para el tramo **euhalino** y la aplicación de distintas concentraciones de **fosfato** como límite (a) "Bueno/Moderado" y (b) "Muy bueno/Bueno". La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.

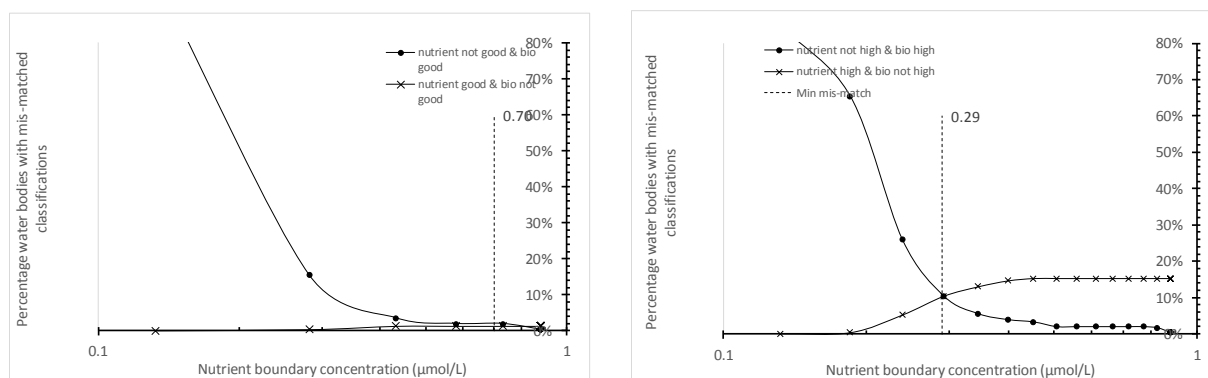


Figura 48 Relación entre el porcentaje de registros mal clasificados de **fosfato** y EQR para el tramo **euhalino mar** y la aplicación de distintas concentraciones de **fosfato** como límite (a) “Bueno/Moderado” y (b) “Muy bueno/Bueno”. La línea discontinua marca el mínimo de desajuste en la clasificación.