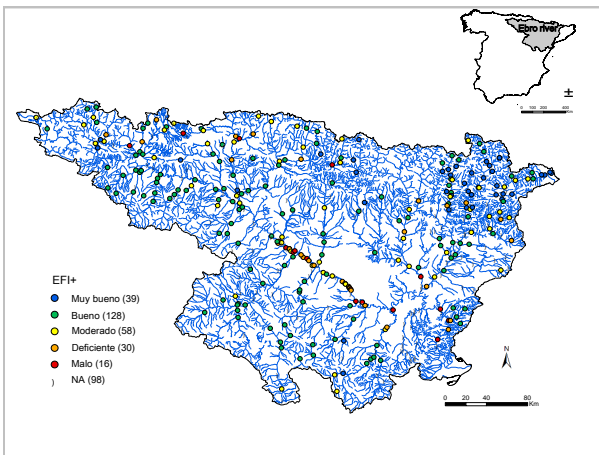
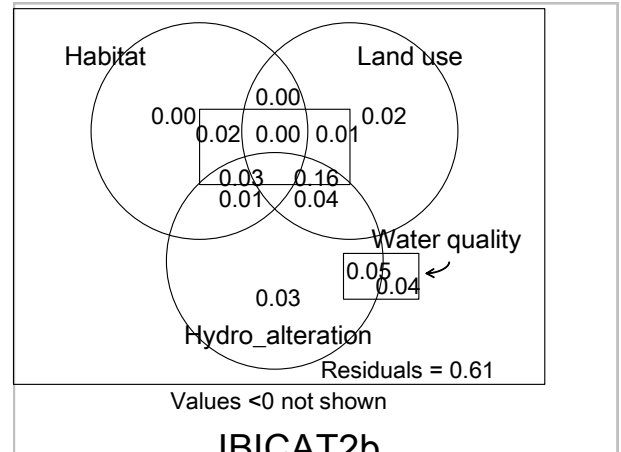


APLICACIÓN DE LOS PECES COMO INDICADORES EN LA CUENCA DEL EBRO EN CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA





APLICACIÓN DE LOS PECES COMO INDICADORES EN LA CUENCA DEL EBRO EN CUMPLIMIENTO DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SERVICIO:

Servicio de Control del Estado Ecológico

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

Concha Durán Lalaguna y Patricia Navarro Barquero

EMPRESA CONSULTORA:

Universitat de Girona



AUTORES DEL TRABAJO:

Emili García-Berthou y Mi-Jung Bae

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

14974,96 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

AÑO DE EJECUCIÓN:

2014

FECHA ENTREGA:

Diciembre de 2014

REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: *Salmo trutta* (Wikimedia Commons)

Superior derecha: Fig. 48 (este trabajo)

Inferior izquierda: Fig. 17 (este trabajo)

Inferior derecha: arriba, *Barbus haasi* (David Perez, Wikimedia Commons); abajo, *Phoxinus phoxinus* (David Perez, Wikimedia Commons).

CITA DEL DOCUMENTO: García-Berthou E. y Bae M.-J. (2014). *Aplicación de los peces como indicadores en la cuenca del Ebro en cumplimiento de la Directiva marco del agua*. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza. 100 pág. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

El presente informe pertenece al Dominio Público en cuanto a los Derechos Patrimoniales recogidos por el Convenio de Berna. Sin embargo, se reconocen los Derechos de los Autores y de la Confederación Hidrográfica del Ebro a preservar la integridad del mismo, las alteraciones o la realización de derivados sin la preceptiva autorización administrativa con fines comerciales, o la cita de la fuente original en cuanto a la infracción por plagio o colusión. A los efectos prevenidos, las autorizaciones para uso no científico del contenido deberán solicitarse a La Confederación Hidrográfica del Ebro.

Aplicación de los peces como indicadores en la cuenca del Ebro en cumplimiento de la Directiva marco del agua

Resumen

Los índices de peces son una herramienta excelente para la evaluación del estado ecológico y la gestión de los ríos. Se han calculado tres índices de peces (IBICAT2b, IBICAT₂₀₁₀ y EFI+) y se han validado mediante su relación con presiones ambientales (por ejemplo, calidad del agua e indicadores de alteración hidrológica y de cambios de uso del suelo) para 369 puntos a lo largo de la cuenca del Ebro. Los tres índices están correlacionados significativamente entre sí y explican en torno de un 26-37% de la variación en perturbaciones antrópicas: IBICAT2b es el que explica más variación e IBICAT₂₀₁₀ el que menos. La mayoría de la variación no está asociada puramente a una única presión (por ejemplo calidad del agua) sino a varias conjuntamente (especialmente cambios en los usos del suelo asociados a alteración hidrológica y disminución de la calidad del agua). IBICAT₂₀₁₀ (que parece ser idéntico a IBIMED en el Ebro, excepto por los umbrales finales de estado ecológico) responde peor a las perturbaciones antrópicas que IBICAT2b y EFI+. Además, IBICAT₂₀₁₀ tiene varias cuestiones metodológicas criticables, por ejemplo: una tipología desarrollada sólo con datos de Cataluña que no parece funcionar bien en el Ebro; y asignación no justificada y a menudo no adecuada de estado ecológico “malo” a muchos tipos cuando el tramo está seco o no se capturaron peces. Por todo ello, no se recomienda el uso de IBICAT₂₀₁₀ o IBIMED en el Ebro. Los porcentajes de especies e individuos introducidos también están correlacionados con los índices de peces y de forma similar a ellos empeoran aguas abajo y están correlacionados significativamente con la mayoría de presiones (cambios en el uso del suelo, alteración hidrológica y calidad del agua).

Use of fish as indicators in the Ebro river basin in agreement with the Water Framework Directive

Abstract

Fish indices are an excellent tool for the assessment of ecological status and for river management. We computed three fish indices (IBICAT2b, IBICAT₂₀₁₀ and EFI+) and validated them with the relationship to environmental pressures (e.g., water quality, indicators of hydrological alteration and land use changes) for 369 sites across the Ebro river basin. The three indices are significantly intercorrelated and explain 26-37% of the variation in anthropogenic perturbation: IBICAT2b explains the most and IBICAT₂₀₁₀ the least. Most explained variation is not due to unique pressures (e.g. water quality) but to joint variation (e.g. land use changes that are associated to poorer water quality and hydrological alteration). IBICAT₂₀₁₀ (which in the Ebro seems to be identical to IBIMED, except for the final thresholds of ecological status) responds less well to anthropogenic pressures than IBICAT2b and EFI+. Moreover, IBICAT₂₀₁₀ has several methodological flaws, e.g.: a typology developed with data only from Catalonia that does not seem to work well in the rest of the Ebro; and unjustified, and often inadequate assignment of “bad” status to sites that are dry or apparently fishless. Therefore, IBICAT₂₀₁₀ o IBIMED is not recommended for application in the Ebro. The percentages of introduced species or individuals are correlated to the fish indices and similarly to them, change downstream and are significantly related to most pressures (land use changes, hydrological alteration, and water quality).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	17
2.	COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	19
3.	ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES	25
4.	RESULTADO DE LOS ÍNDICES DE PECES Y CÁLCULO DE ESTADO ECOLÓGICO.....	35
5.	COMPARACIÓN E INTERCALIBRACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PECES	43
6.	CALCULO DE LAS PRESIONES AMBIENTALES Y VALIDACIÓN DE LOS INDICES DE PECES.....	49
7.	RELACION DE LAS ESPECIES INVASORAS CON LAS PRESIONES AMBIENTALES.....	79
8.	CONCLUSIONES	97
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Excel con todos los datos compilados y los tres índices de peces calculados

Anexo 2. Excel con la entrada de datos del índice EFI+

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las variables usadas en los análisis de datos.....	21
Tabla 2. Matriz de correlación de las variables espaciales	26
Tabla 3. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo	27
Tabla 4. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (datos IMPRESS)	28
Tabla 5. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica	29
Tabla 6. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS).....	30
Tabla 7. Matriz de correlación de las variables de físico-química del agua	31
Tabla 8. Matriz de correlación de los indicadores de contaminación química (datos IMPRESS).....	32
Tabla 9. Matriz de correlación de los índices qbr	33
Tabla 10. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice ibicat2010 por tipología.....	38
Tabla 11. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice ibicat2b por tipología.....	39
Tabla 12. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice efi+ por tipología	41
Tabla 13. Matriz de correlación de los tres índices de peces.....	43
Tabla 14. Tabla de frecuencias (porcentaje entre paréntesis) de estado ecológico según los tres índices.....	46
Tabla 15. Comparación de frecuencias de estado ecológico según IBICAT2010 e IBICAT2B	47
Tabla 16. Comparación de frecuencias de estado ecológico según IBICAT2010 y EFI+	47
Tabla 17. Comparación de frecuencias de estado ecológico según EFI+ e IBICAT2B	47
Tabla 18. Tablas de frecuencias de estado ecológico según los tres índices por tipología.....	48
Tabla 19. Matriz de correlación de los descriptores fisiográficos (ejes pca) y los tres índices de peces	52
Tabla 20. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces.	54
Tabla 21. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces.....	56
Tabla 22. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y los tres índices de peces.....	58
Tabla 23. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces.....	60

Tabla 24. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros datos compilados) y los tres índices de peces.....	62
Tabla 25. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de hábitat (ejes PCA) y los tres índices de peces.	64
Tabla 26. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA) y los tres índices de peces.	66
Tabla 27. Matriz de correlación de los indicadores de contaminación química (ejes PCA) y los tres índices de peces.	68
Tabla 28. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros compilados) y los tres índices de peces.....	70
Tabla 29. Matriz de correlación de las medidas globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y los tres índices de peces.	72
Tabla 30. Matriz de correlación de los índices QBR y los tres índices de peces.	73
Tabla 31. Matriz de correlación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y los tres índices de peces.....	74
Tabla 32. Modelos de regresión múltiple entre los tres índices de peces y las cuatro presiones ambientales (uso del suelo, calidad del hábitat, alteración hidrológica y calidad del agua).	78
Tabla 33. Matriz de correlación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los tres índices de peces.....	82
Tabla 34. Matriz de correlación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores espaciales (ejes PCA)	83
Tabla 35. Matriz de correlación entre descriptores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces	84
Tabla 36. Matriz de correlación entre descriptores de uso del suelo (ejes PCA de datos IMPRESS) y los tres índices de peces.	85
Tabla 37. Matriz de correlación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)	86
Tabla 38. Matriz de correlación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).....	87

Tabla 39. Matriz de correlación entre indicadores globales de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS y otros datos compilados) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	88
Tabla 40. Matriz de correlación entre calidad de hábitat (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)	89
Tabla 41. Matriz de correlación entre calidad de agua (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	90
Tabla 42. Matriz de correlación entre contaminación química (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	91
Tabla 43. Matriz de correlación entre calidad de agua (ejes PCA basados en datos IMPRESS y datos del muestreo de peces) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	92
Tabla 44. Matriz de correlación entre indicadores globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)	93
Tabla 45. Matriz de correlación entre los índices QBR y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	94
Tabla 46. Matriz de correlación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	95



ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Datos de peces disponibles (presencia/ ausencia) para la cuenca del Ebro.....	19
Figura 2. Calibración de dos cálculos independientes del Ibicat2010.....	23
Figura 3. Matriz de dispersión de las variables espaciales	26
Figura 4. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo	27
Figura 5. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo (datos IMPRESS)	28
Figura 6. Matriz de dispersión de los indicadores de alteración hidrológica (número de azudes aguas arriba y área y número de embalses aguas arriba)	29
Figura 7. Matriz de dispersión de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS) (extracciones de agua, regulación por embalse, presas y azudes y encauzamientos y canalizaciones)	30
Figura 8. Matriz de dispersión de las variables de físico-química del agua	31
Figura 9. Matriz de dispersión de los indicadores de contaminación química (datos IMPRESS).....	32
Figura 10. Matriz de dispersión de los índices QBR.....	33
Figura 11. Tipología de ríos para el índice IBICAT2010/IBIMED	36
Figura 12. Tipología de ríos oficial en el Ebro (usada para el índice IBICAT2b).....	36
Figura 13. Tipología de ríos para el índices IBICAT2010/IBIMED con la altitud	37
Figura 14. Estado ecológico según el índice IBICAT2010	38
Figura 15. Estado ecológico según el índice IBICAT2b	39
Figura 16. Tipología de ríos usada por el índice EFI+ (EFI+ river zone).....	40
Figura 17. Estado ecológico según el índice EFI+	41
Figura 18. Matriz de dispersión de los tres índices de peces	43
Figura 19. Regresiones lineales entre los tres índices de peces	44
Figura 20. Frecuencias de estado ecológico según los tres índices.	46
Figura 21. Frecuencias de estado ecológico según los tres índices por tipología	48
Figura 22. Análisis de componentes principales (PCA) de los datos fisiográficos	51
Figura 23. Relación entre los descriptores fisiográficos (ejes PCA) y los tres índices de peces	52
Figura 24. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de uso del suelo	53

Figura 25. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces.....	54
Figura 26. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores del uso del suelo (datos IMPRESS).....	55
Figura 27. Relación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces	56
Figura 28. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de alteración hidrológica	57
Figura 29. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y los tres índices de peces.....	58
Figura 30. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS).....	59
Figura 31. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces	60
Figura 32. Análisis de componentes principales (PCA) del conjunto de indicadores de alteración hidrológica	61
Figura 33. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros datos compilados) y los tres índices de peces.	62
Figura 34. Análisis de componentes principales (PCA) de los datos de hábitat del muestreo de peces.....	63
Figura 35. Relación de los indicadores de calidad de hábitat (ejes PCA) y los tres índices de peces.	64
Figura 36. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables de físico-química del agua	65
Figura 37. Relación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA) y los tres índices de peces.	66
Figura 38. Análisis de componentes principales (PCA) de la contaminación química (datos IMPRESS) ...	67
Figura 39. Relación de los indicadores de contaminación química (ejes PCA) y los tres índices de peces.....	68
Figura 40. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables de físico-química del agua (datos IMPRESS combinados con datos del muestreo de peces).....	69
Figura 41. Relación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros compilados) y los tres índices de peces.	70
Figura 42. Análisis de componentes principales (PCA) del conjunto de presiones ambientales (uso del suelo, alteración hidrológica, calidad del hábitat y del agua).....	71
Figura 43. Relación de las medidas globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y los tres índices de peces.	72

Figura 44. Relación de los índices QBR y los tres índices de peces.	73
Figura 45. Relación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y los tres índices de peces.	74
Figura 46. Distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo de los puntos según el estado ecológico asignado por los tres índices.	75
Figura 47. Número de puntos sin presas aguas arriba según su estado ecológico para los tres índices ...	76
Figura 48. Partición de la variación (Variation partitioning) de los índices en cuatro conjuntos: calidad del hábitat, uso del suelo, alteración hidrológica (incluyendo conectividad) y calidad del agua.	77
Figura 49. Partición de la variación (Variation partitioning) de los índices en cuatro conjuntos: calidad del hábitat, uso del suelo, alteración hidrológica (sin incluir conectividad) y calidad del agua.	77
Figura 50. Partición de la variación (Variation partitioning) de los índices en cuatro conjuntos: variación espacial, uso del suelo, alteración hidrológica (sin incluir conectividad) y calidad del agua.	77
Figura 51. Número de especies nativas de peces observadas en los muestreos del Ebro.	80
Figura 52. Porcentaje de especies introducidas de peces observadas en los muestreos del Ebro.	80
Figura 53. Porcentaje de individuos de peces introducidos observados en los muestreos del Ebro.	81
Figura 54. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los tres índices de peces.	82
Figura 55. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores espaciales (ejes PCA).	83
Figura 56. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores de uso del suelo (ejes PCA).	84
Figura 57. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores de uso del suelo (ejes PCA de datos IMPRESS).	85
Figura 58. Relación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	86
Figura 59. Relación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	87

Figura 60. Relación entre indicadores globales de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS y otros datos compilados) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	88
Figura 61. Relación entre calidad de hábitat (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	89
Figura 62. Relación entre calidad de agua (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	90
Figura 63. Relación entre contaminación química (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	91
Figura 64. Relación entre calidad de agua (ejes PCA basados en datos IMPRESS y datos del muestreo de peces) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	92
Figura 65. Relación entre indicadores globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	93
Figura 66. Relación entre los índices QBR y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	94
Figura 67. Relación entre la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).	95

1. INTRODUCCIÓN

La Directiva Marco del Agua requiere que se evalúe el estado ecológico de las masas de agua, incluidos los ríos, mediante indicadores biológicos, incluyendo entre dichos indicadores, a los peces. Para ello, en España se han desarrollado varios índices específicos de peces como por ejemplo el IBICAT₂₀₁₀ (Sostoa et al. 2010), el IBICAT2b (Sostoa et al. 2010), el IBI-JUCAR (Aparicio et al. 2011)) o el IBIMED (Sostoa et al. 2011). También se ha usado en España un índice desarrollado para el conjunto Europa, denominado EFI+ (new European Fish Index) (EFI+ Consortium 2009, Logez & Pont 2011), que sustituyó uno anterior denominado “European Fish Index” que se había desarrollado en el proyecto europeo FAME.

El IBICAT₂₀₁₀ y el IBICAT2b fueron desarrollados por Sostoa et al. (2010) para la Agencia Catalana del Agua a partir de datos solo de Cataluña (incluida la parte catalana del Ebro), donde se validaron mediante su relación con presiones ambientales. En un informe no publicado, Sostoa et al. (2011) proponen el IBICAT₂₀₁₀ para el conjunto del Ebro bajo el nombre de IBIMED. Posteriormente, se amplió el IBIMED a varias cuencas ibéricas: estableciendo la tipología para especies no presentes en Cataluña y el Ebro y modificando los umbrales del estado ecológico (Segurado et al. 2014). Sin embargo, no es público (ni en forma de publicaciones ni en informes en Internet) cómo se calcula exactamente este nuevo IBIMED. Segurado et al. (2014), que incluyen como autores a quien desarrolló el IBICAT₂₀₁₀/IBIMED, exponen que el IBIMED solo funciona en las cuencas ibéricas mediterráneas y en el Duero, y no en cambio en todos los otros ríos de las vertientes atlántica y cantábrica, donde no se consiguió validar. Por ello, no se puede usar el IBIMED para el conjunto de ríos españoles.

De forma similar, en otras cuencas, se han intentado otros índices. Así, el IBI-JUCAR fue propuesto originalmente por Aparicio et al. (2011) pero solo se validó con datos de la cuenca del Júcar. Hermoso et al. (2010) propusieron un índice para los peces del Guadiana pero que solo se validó en esa cuenca y tampoco existe una adaptación publicada para otras cuencas ibéricas.

El EFI+ (EFI+ Consortium 2009, Logez & Pont 2011) es un índice desarrollado y validado para el conjunto de Europa. Para su desarrollo se usaron en parte datos de ríos españoles, especialmente de la cordillera cantábrica, Galicia, Pirineos y Júcar (EFI+ Consortium 2009). Debido a que EFI+ solo usa dos métricas por tipo de río (que también son solo dos), a

veces responde peor que índices regionales, como reconocen Segurado et al. (2014), que incluyen a algunos de los autores principales del EFI+.

Tanto el IBICAT₂₀₁₀ como el IBICAT2b y el IBI-JUCAR se pueden calcular a partir del software HIBIM (“Índices Hidromorfológicos y Biológicos en ríos Mediterráneos”), que se desarrolló para el Ministerio de Medio Ambiente, pero que no se encuentra disponible públicamente; mientras que existe software disponible (<http://efi-plus.boku.ac.at/software/>) para el EFI+ (EFI+ Consortium 2009, Logez & Pont 2011).

Por lo expuesto, los objetivos de este trabajo son:

- 1) compilar los datos necesarios para el cálculo de índices basados en peces y su validación
- 2) calcular el IBICAT2b, EFI+ e IBICAT₂₀₁₀/IBIMED para el conjunto de la cuenca del Ebro. Esta parece ser la primera aplicación disponible públicamente de estos índices para el conjunto de la cuenca
- 3) establecer el estado ecológico para el conjunto de masas de agua analizadas
- 4) validar los tres índices mediante su relación con presiones ambientales y comparar el resultado de los tres índices
- 5) analizar la relación de estos índices con distintos tipos de presiones ambientales (por ejemplo, alteración hidrológica, contaminación química, calidad del hábitat) para establecer su complementariedad con otros indicadores biológicos
- 6) analizar la relación de los peces introducidos con las distintas presiones ambientales y su papel en los tres índices

2. COMPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Se han complementado los datos disponibles de peces, con numerosos otros datos disponibles (fisiografía, hidrología, clima), necesarios para el cálculo de los distintos índices y sus tipologías y para su óptima validación mediante su relación con las variables ambientales. Para muchos de los datos ha sido necesario el uso de herramientas de información geográfica (SIG). La Tabla 1 recoge las fuentes de todos los datos compilados y la abreviación usada a lo largo de este informe.

Los datos de peces y algunas medidas ambientales (p. ej. hábitat) provienen de Sostoa et al. (2011), por lo que nos remitimos a ese informe para detalles sobre la metodología de muestreo. La metodología es muy similar a estudios previos de esos autores (p. ej. Sostoa et al. 2010, Maceda-Veiga y Sostoa 2011, Benejam et al. 2012, Murphy et al. 2013). Se disponía información de 369 puntos de muestreo, de los cuales 280 tenían presencia de peces. 63 de los puntos no tenían peces, 13 estaban secos en el momento de muestreo y 13 más no se podía muestrear (básicamente por tener caudal elevado) (Fig. 2). Cuatro de los puntos (IBI 160, 227, 277 and 333) no tenían datos de longitud y peso, de manera que para ellos no se han podido calcular los índices de peces.

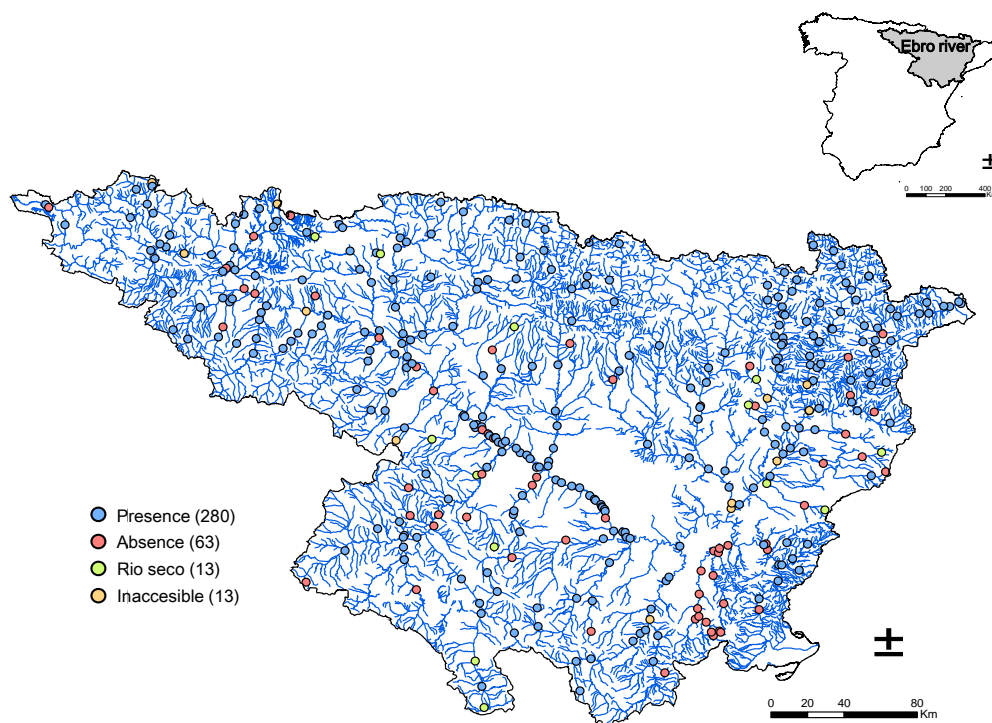


Figura 1. Datos de peces disponibles (presencia/ ausencia) para la cuenca del Ebro.

Para estos 369 puntos se han compilado las numerosas características ambientales necesarias para el cálculo de las tipologías de los tres índices de peces. Los datos fisiográficos (p. ej. distancia a la desembocadura, pendiente, etc.) se han obtenido de bases de datos de Internet, mediante ArcGIS ver. 10.0 (ESRI, 2009). Numerosos datos usados para el cálculo de presiones ambientales se han obtenido del último análisis IMPRESS en la cuenca del Ebro (CHE 2012).

Como se ha dicho ya, tanto el IBICAT₂₀₁₀ como el IBICAT2b se han calculado a partir del software HIBIM (“Índices Hidromorfológicos y Biológicos en ríos Mediterráneos”), que se desarrolló para el Ministerio de Medio Ambiente. El EFI+ se ha calculado mediante el software específico disponible (<http://efi-plus.boku.ac.at/software/>) (EFI+ Consortium 2009, Logez & Pont 2011).

Una vez calculados los índices y compilados los datos se han analizado primeramente con correlaciones de Pearson y gráficos de dispersión en que se muestra la relación entre variables. A continuación se han desarrollado, como es habitual en este tipo de trabajos (ver p. ej. Murphy et al. 2013), numerosos análisis de componentes principales (PCA) que resumieran las distintas presiones ambientales. A continuación se ha analizado la relación de los índices (y también de métricas que resumían la importancia de especies invasoras) con estas presiones. Finalmente, se ha realizado un análisis de partición de la variación (*variation partitioning*) (Borcard et al., 1992; Monti and Legendre, 2009, Boix et al. 2010, Oksanen et al. 2011, Murphy et al. 2013) y análisis de regresión múltiple para analizar con más detalle estas relaciones. Todos los análisis estadísticos, excepto unas pocas regresiones lineales simples, se han realizado con el programa R.

En la Tabla 1, se muestra los coeficientes de asimetría (*skewness*) y curtosis, que indican la forma de la distribución de las variables. Las variables con marcada asimetría positiva se han transformado logarítmicamente ($\log_{10} x$, o si las variables incluían ceros, $\log_{10} (x + 1)$), ya que de este modo esta asimetría se reduce y en general también se reduce la heterocedasticidad y no linealidad de las relaciones. A los porcentajes, se ha aplicado la transformación arco seno ($\arcsin \sqrt{p/100}$, donde p es el porcentaje), como es habitual en estadística, para mejorar los mismos supuestos estadísticos (p. ej. Sokal y Rohlf 1995).

Tabla 1. Descripción de las variables usadas en los análisis de datos.

Categories	Environmental variables	Abbreviation	Missing values	Skewness	Kurtosis	Data transformation	Data source
Geography	Altitude	Alti	-	0.94	0.96	log(x+1)	1
Geography	Distance from source (km)	DFS	-	2.08	3.52	log(x+1)	2
Geography	Distance from mouth (km)	DFM	-	0.32	-0.85	log(x+1)	2
Geography	Slope	Slope	-	3.55	18.49	log(x+1)	From altitude
Geography	Stream order	S_order	-	0.38	-0.73		From altitude
Geography	River basin (km ²)	River_Bas	-	2.98	9.30	log(x+1)	From altitude
Land use	Artificial surfaces (%)	Urban	-	4.70	32.34	arsine transformation	3
Land use	Agricultural areas (%)	Agriculture	-	0.53	0.14	arsine transformation	3
Land use	Forests semi natural areas (%)	Forest	-	-0.53	0.14	arsine transformation	3
Connectivity	Upstream weir (m)	Up_Weir	79	4.98	32.66	log(x+1)	4
Connectivity	Downstream weir (m)	Down_Weir	1	4.13	20.72	log(x+1)	4
Hydrological alteration	No of weir	No_Weir	-	2.96	8.96	log(x+1)	4
Hydrological alteration	Reservoir area (km ²)	Res_Are	-	3.26	12.63	log(x+1)	5
Hydrological alteration	No of reservoirs	No_Res	-	3.19	12.02	log(x+1)	5
Habitat	Estructura del hábitat (microhábitats)	Hab_Str	21	-0.35	0.06		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Diversidad de hábitats	Hab_Div	20	-0.47	0.47		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Canalización	Canalization	21	-0.58	-0.12		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Morfología del canal	Can_Mor	20	-0.56	-0.24		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Caudal	Volume	20	-0.64	0.45		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Grado de colmatación	Deg_Sil	20	-0.23	-0.64		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Erosión (MD)	MD_Ero	20	-0.40	-0.41		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Erosión (MI)	MI_Ero	20	-0.44	-0.31		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Vegetación acuática	Aqu_Veg	21	0.91	-0.23		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Vegetación de ribera (MD)	MD_Rip_Veg	20	-0.04	-0.48		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Vegetación de ribera (MI)	MI_Rip_Veg	20	0.02	-0.54		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Anchura de la vegetación de ribera (MD)	MD_Wid_Rip_Veg	20	0.16	-0.96		Sostoa et al. (2011)
Habitat	Anchura de la vegetación de ribera (ME)	MI_Wid_Rip_Veg	20	0.29	-0.93		Sostoa et al. (2011)
QBR	Riparian vegetation quality index	QBR1	19	1.20	1.15		Sostoa et al. (2011)
QBR	Puntuación total	QBR2	136	0.43	-0.73		Sostoa et al. (2011)
Water quality	Temperatura agua (°C)	Wat_Temp	25	0.14	-0.67		Sostoa et al. (2011)
Water quality	O ₂ (ppm)	O ₂	29	4.69	30.06	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Water quality	Conductividad (microS/s)	Conductivity	25	1.99	4.03	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)

Tabla 1. Descripción de las variables usadas en los análisis de datos. (continuación).

Categories	Environmental variables	Abbreviation	Missing values	Skewness	Kurtosis	Data transformation	Data source
Water quality	Alcalinidad (mg/L)	Alkalinity	51	2.08	5.59	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Water quality	pH	pH	26	0.15	-0.21		Sostoa et al. (2011)
Water quality	Amonio (ppm)	Ammonium	32	10.60	126.09	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Water quality	Nitritos (ppm)	Nitrites	31	2.90	8.04	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Water quality	Nitratos (ppm)	Nitrates	31	2.77	10.35	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Water quality	Fosfatos (ppm)	Phosphates	32	4.13	20.51	log(x+1)	Sostoa et al. (2011)
Chemical point	Carga orgánica (DQO)	Org_Load	18	1.95	2.17	log(x+1)	(CHE 2012)
Chemical point	Carga de fósforo	Phos_Load	18	1.88	1.82	log(x+1)	(CHE 2012)
Chemical point	Núcleos no saneados	Sanitized	18	1.69	1.35	log(x+1)	(CHE 2012)
Chemical point	Vertidos de sustancias peligrosas	Haz_Dis	18	3.35	9.27		(CHE 2012)
Chemical point	Industrias sujetas a IPPC	IPCC	18	1.32	-0.25		(CHE 2012)
R landuse**	Usos agrícolas	Agr_Use	18	0.39	-0.23		(CHE 2012)
R landuse	Deyecciones ganaderas	Cat_Man	18	4.84	38.04	log(x+1)	(CHE 2012)
R landuse	Usos urbanos	Urb_Use	18	5.25	44.04	log(x+1)	(CHE 2012)
R landuse	Usos agrícolas	Agr_Use	18	0.39	-0.23		(CHE 2012)
R landuse	Deyecciones ganaderas	Cat_Man	18	4.84	38.04	log(x+1)	(CHE 2012)
R landuse	Usos urbanos	Urb_Use	18	5.25	44.04	log(x+1)	(CHE 2012)
R landuse	Zonas mineras	Min_Area	18	8.55	84.61	log(x+1)	(CHE 2012)
R landuse	Vías de comunicación	Pat_Com	18	10.72	152.00	log(x+1)	(CHE 2012)
Hydro alter impress	Extracciones de agua	Wat_Wit	18	-0.31	63.32	log(x+1)	(CHE 2012)
Hydro alter impress	Regulación por embalse	Res_Reg	18	2.68	11.85	log(x+1)	(CHE 2012)
Hydro alter impress	Presas y azudes	Dam>Weir	18	12.64	202.77	log(x+1)	(CHE 2012)
Hydro alter impress	Encauzamientos y canalizaciones	Cha_Tru	18	3.06	11.61	log(x+1)	(CHE 2012)

Fuente de los datos:

- <http://www.ign.es/ign/layoutIn/modeloDigitalTerreno.do>
- <http://oph.chebro.es/ContenidoCartoHidrologia.htm>
- <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/cambiarMenu.do?destino=catalogo>
- <http://iber.chebro.es/geoportal/>
- <http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/descargas/capas.jsp>

No se disponía de los cálculos de IBICAT₂₀₁₀/IBIMED (o su tipología) para los datos usados del Ebro. Solo se disponía de algunos cálculos del IBIMED proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente para unas pocas muestras ($n = 17$) de los datos usados del Ebro. Se puede observar que hay un cierto error de cálculo (entre los índices proporcionados y los calculados con HIBIM), porque para calcular la tipología hay que usar muchas variables fisiográficas de cada punto (por ejemplo distancia a la desembocadura, pendiente, orden del río, precipitación media en julio), que tienen un cierto error de medición. Esto se producirá siempre que se calcule este tipo de índices sin un mapa preestablecido de la tipología. A pesar de ello, hay una buena correlación ($r = 0.91$, $P < 0.0005$) entre los dos cálculos por lo que los resultados son muy similares.

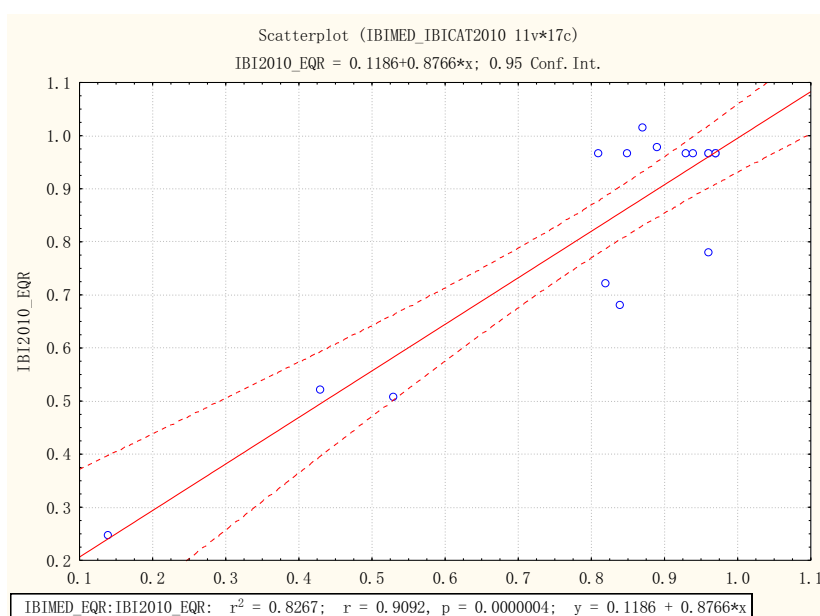


Figura 2. Calibración de dos cálculos independientes del Ibicat2010.



3. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

A continuación se muestra la relación entre las numerosas variables ambientales compiladas. En todas las matrices de dispersión el valor del coeficiente corresponde a la correlación de Pearson y su tamaño es proporcional a su valor absoluto; la línea roja corresponde a la función de suavizado (*lowess smoother*).

Entre las variables fisiográficas (Fig. 3, Tabla 2), el área de drenaje, el orden del río y la distancia al nacimiento del río están muy correlacionadas positivamente, aunque prácticamente todas las correlaciones son significativas. La altitud y la distancia a la desembocadura están menos correlacionadas con estas variables y la pendiente muy poco con todas las variables.

Entre los indicadores de uso del suelo compilados (Fig. 4, Tabla 3), el % de uso de suelo agrícola y el % de forestal, aguas arriba del punto de muestreo, están muy relacionadas negativamente. El % de uso urbano era mucho menor y por eso está menos correlacionado. Los indicadores de uso del suelo del IMPRESS (CHE 2012) son bastante distintos (Fig. 5, Tabla 4) por no ser porcentajes de uso del suelo sino las medidas de presiones de usos agrícolas, ganaderos o urbanos. Ello aumenta el interés de usar un PCA para resumir estos tipos de indicadores.

De forma similar, los indicadores de alteración hidrológica compilados están muy correlacionados (Fig. 6, Tabla 5). En cambio los del documento IMPRESS (Fig. 7, Tabla 6) corresponden a medidas de presiones de tipo más variado.

Las variables de físico-química obtenidos durante los muestreos de peces (Fig. 8, Tabla 7), muestran correlación positiva de conductividad, alcalinidad, nitratos y nitritos y menor correlación para el resto de variables. En cambio los del documento IMPRESS (Fig. 9, Tabla 8) muestran una mayor correlación, especialmente de la DQO, carga de fósforo y la existencia de núcleos sin saneamiento.

Finalmente, los dos componentes del índice de calidad del bosque ribera (QBR), medido durante el muestreo de peces, están poco correlacionados (Fig. 9, Tabla 8).

En resumen, los datos de los muestreos de peces y los compilados son bastante complementarios respecto a los del IMPRESS, ya que estos últimos integran una escala temporal mayor y corresponden más a presiones globales en toda la masa de agua, mientras que los primeros son más del punto de muestreo (es decir más locales) en el

momento de muestreo (es decir, en algunos casos sometido a posibles variaciones estacionales y menos integrador de la variación temporal pasada).

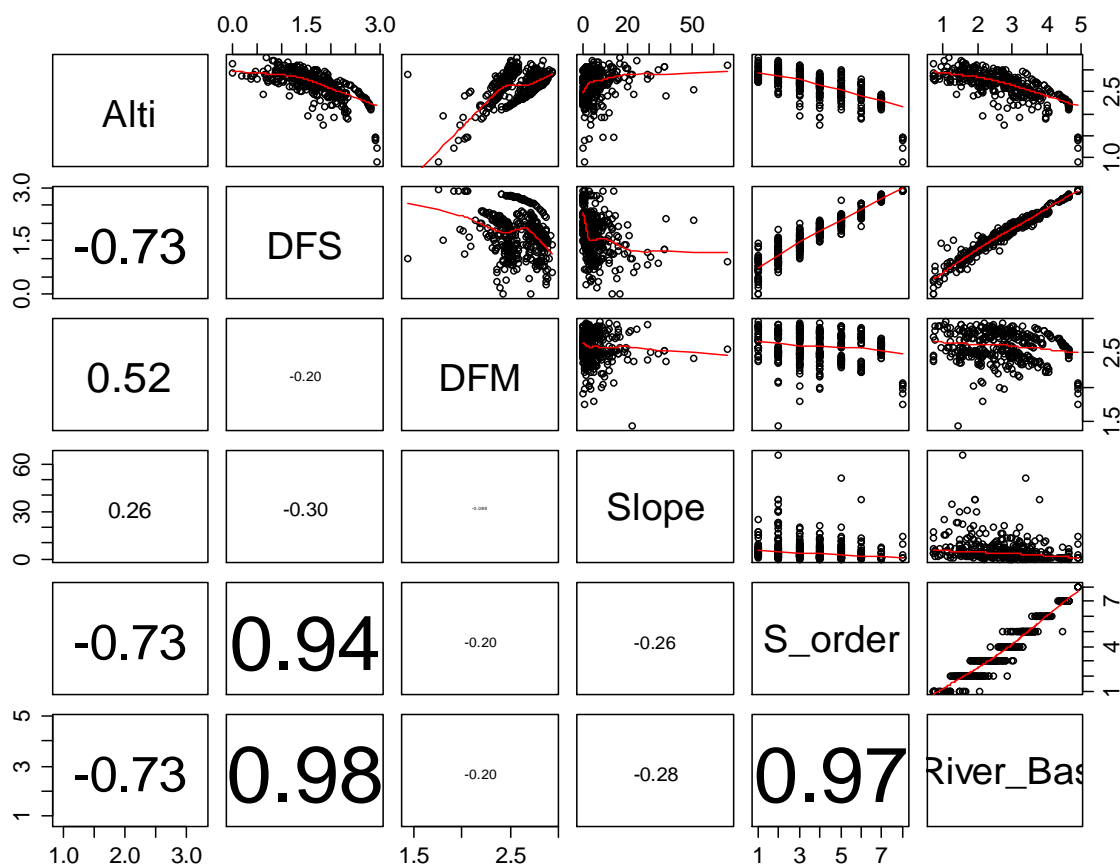


Figura 3. Matriz de dispersión de las variables espaciales

Tabla 2. Matriz de correlación de las variables espaciales

	Alti	DFS	DFM	Slope	S_order	River_Bas
Alti	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DFS	-0.73	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DFM	0.52	-0.20	1.00	0.09	0.00	0.00
Slope	0.26	-0.30	-0.09	1.00	0.00	0.00
S_order	-0.73	0.94	-0.20	-0.26	1.00	0.00
River_Bas	-0.73	0.98	-0.20	-0.28	0.97	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

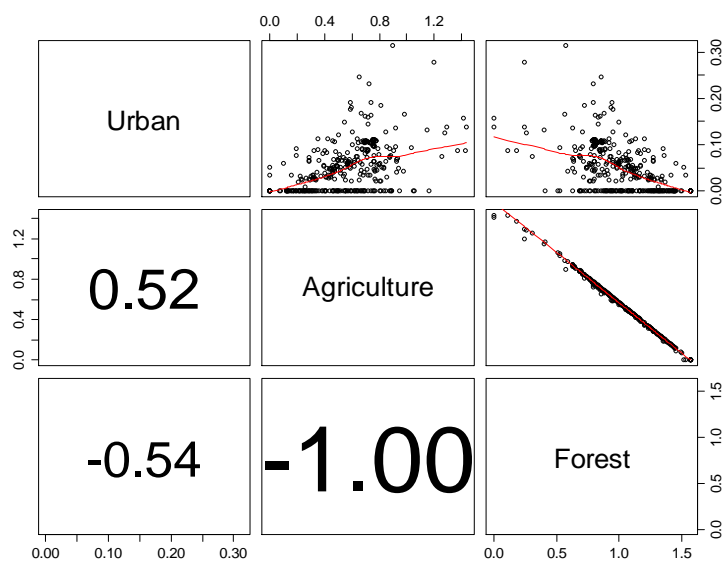


Figura 4. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo

Tabla 3. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo

	Urban	Agriculture	Forest
Urban	1.00	0.00	0.00
Agriculture	0.52	1.00	0.00
Forest	-0.54	-1.00	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

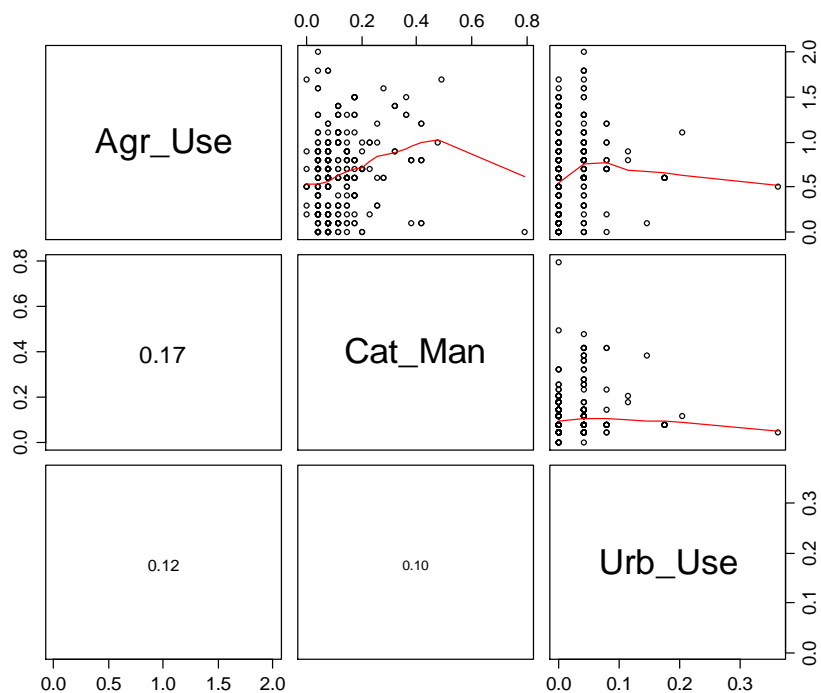


Figura 5. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo (datos IMPRESS)

Tabla 4. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (datos IMPRESS)

	Agr_Use	Cat_Man	Urb_Use
Agr_Use	1.00	0.00	0.02
Cat_Man	0.17	1.00	0.05
Urb_Use	0.12	0.10	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores P encima

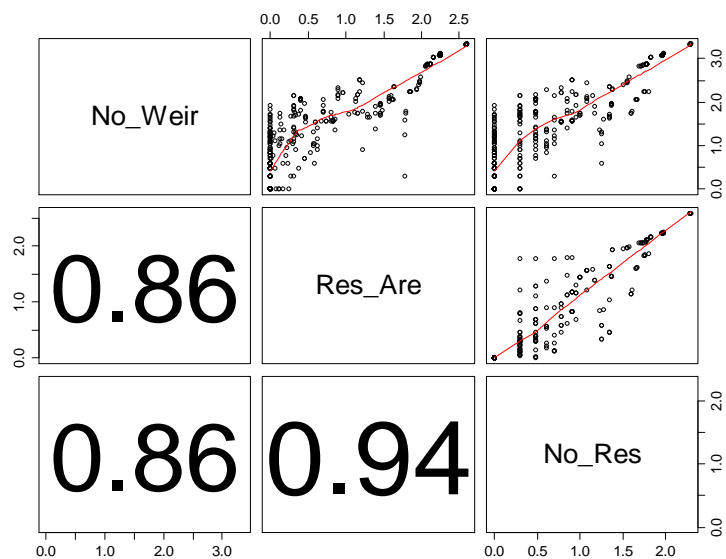


Figura 6. Matriz de dispersión de los indicadores de alteración hidrológica (número de azudes aguas arriba y área y número de embalses aguas arriba)

Tabla 5. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica

	No_Weir	Res_Are	No_Res
No_Weir	1.00	0.00	0.00
Res_Are	0.86	1.00	0.00
No_Res	0.86	0.94	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores P encima

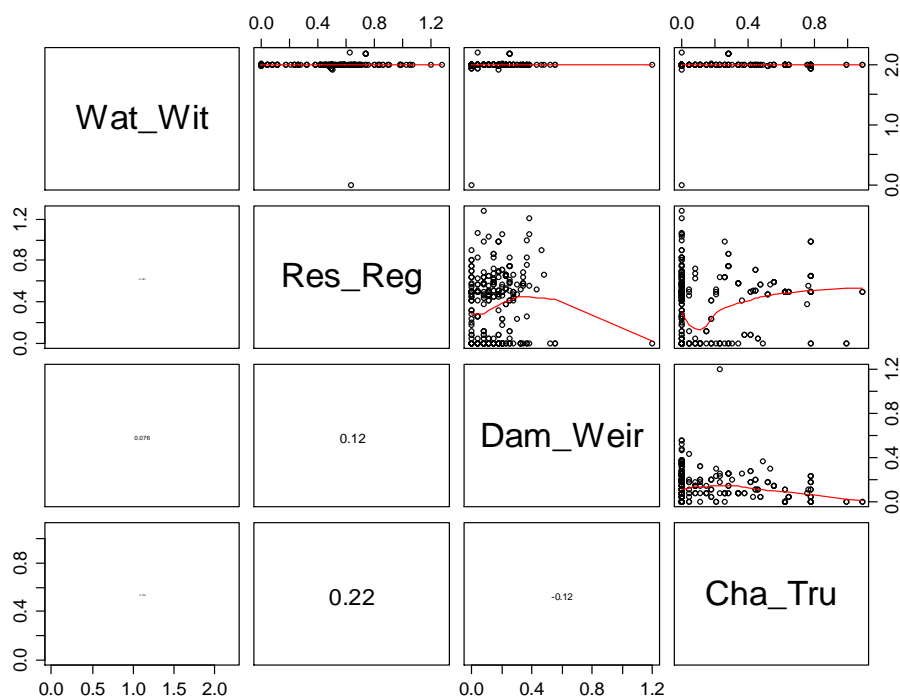


Figura 7. Matriz de dispersión de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS)
 (extracciones de agua, regulación por embalse, presas y azudes y encauzamientos y
 canalizaciones)

Tabla 6. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS)

	Wat_Wit	Res_Reg	Dam_Weir	Cha_Tru
Wat_Wit	1.00	0.69	0.15	0.72
Res_Reg	-0.02	1.00	0.02	0.00
Dam_Weir	0.08	0.12	1.00	0.02
Cha_Tru	0.02	0.22	-0.12	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores P encima

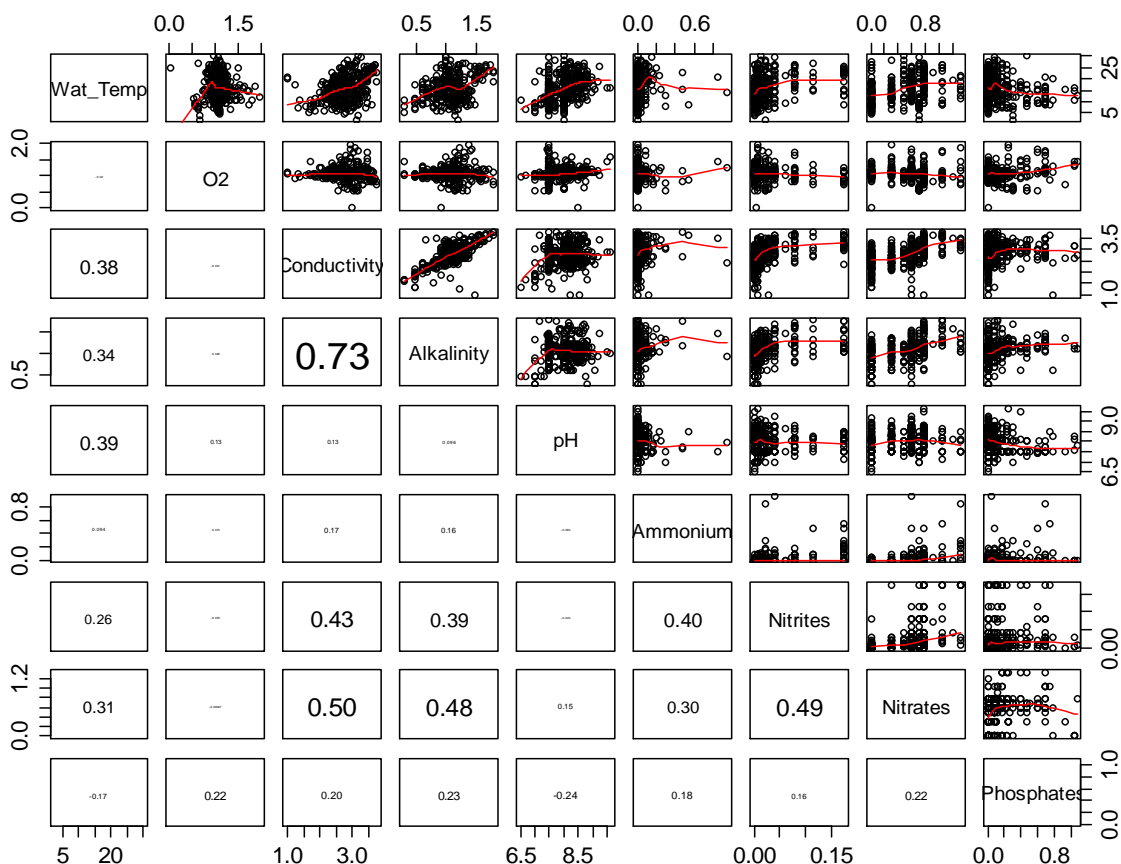


Figura 8. Matriz de dispersión de las variables de físico-química del agua

Tabla 7. Matriz de correlación de las variables de físico-química del agua

	Wat_Temp	O2	Conductivity	Alkalinity	pH	Ammonium	Nitrites	Nitrates	Phosphates
Wat_Temp	1.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
O2	-0.02	1.00	0.55	0.36	0.01	0.78	0.13	1.00	0.00
Conductivity	0.38	-0.03	1.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Alkalinity	0.34	0.05	0.73	1.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
pH	0.39	0.13	0.13	0.10	1.00	0.23	0.41	0.00	0.00
Ammonium	0.09	0.01	0.17	0.16	-0.06	1.00	0.00	0.00	0.00
Nitrites	0.26	-0.08	0.43	0.39	-0.04	0.40	1.00	0.00	0.00
Nitrates	0.31	0.00	0.50	0.48	0.15	0.30	0.49	1.00	0.00
Phosphates	-0.17	0.22	0.20	0.23	-0.24	0.18	0.16	0.22	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores P encima

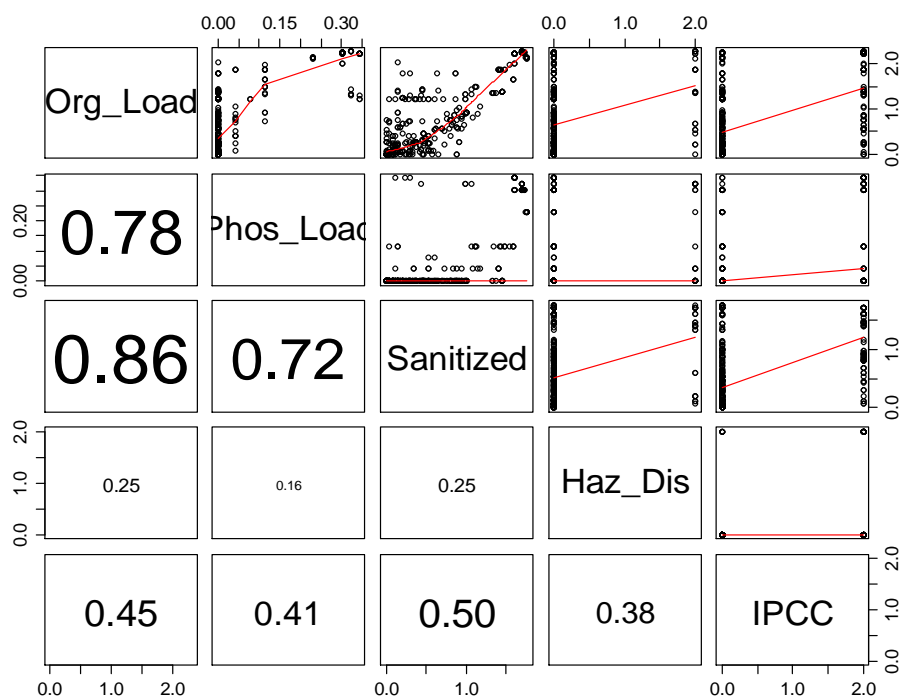


Figura 9. Matriz de dispersión de los indicadores de contaminación química (datos IMPRESS)

Tabla 8. Matriz de correlación de los indicadores de contaminación química (datos IMPRESS)

	Org_Load	Phos_Load	Sanitized	Haz_Dis	IPCC
Org_Load	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Phos_Load	0.78	1.00	0.00	0.00	0.00
Sanitized	0.86	0.72	1.00	0.00	0.00
Haz_Dis	0.25	0.16	0.25	1.00	0.00
IPCC	0.45	0.41	0.50	0.38	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

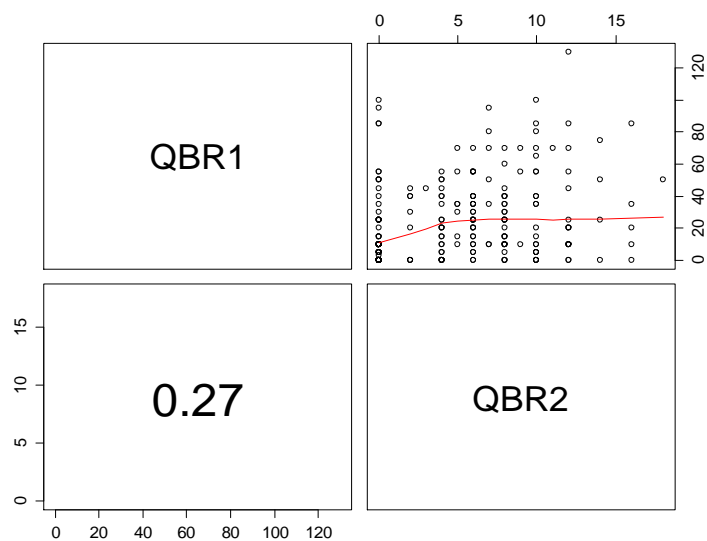


Figura 10. Matriz de dispersión de los índices QBR

Tabla 9. Matriz de correlación de los índices qbr

	QBR1	QBR2
QBR1	1.00	0.00
QBR2	0.27	1.00

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima



4. RESULTADO DE LOS ÍNDICES DE PECES Y CÁLCULO DE ESTADO ECOLÓGICO

En este capítulo se muestra el resultado de los tres índices de peces, previo cálculo de la tipología. La Fig. 11 muestra la tipología del IBICAT₂₀₁₀/IBIMED calculada con HIBIM, de la que solo se disponía de un mapa en Cataluña (p. 140 en Sostoa et al. 2010). Aunque hay un cierto error posible en su cálculo (como hemos mencionado anteriormente) se puede observar que, a diferencia de la tipología oficial (Fig. 12), en el IBICAT₂₀₁₀/IBIMED:

- las tipologías varían más a pequeña escala, a veces con tres tipos de río en un radio de 10 km
- se producen “retrocesos” en las tipologías, lo cual no es en absoluto lógico desde el punto de vista de las características ecológicas o ictiológicas de un río. Por ejemplo, el Jiloca nace con tipo 2 (“Montaña húmeda”) pasa a la 5 (“Alta Montaña”) y luego vuelve a la 2; el Cinca pasa varias veces del tipo 4 (“Mediterráneo tierras bajas”) al 2 para volver al 4
- las zonas de cabecera del norte de Navarra (cuencas del Ega, Arga e Irati) corresponden básicamente al tipo 4 (“Mediterráneo tierras bajas”) igual que las partes más bajas del Cinca y el Segre. Estas dos zonas corresponden a tipos muy distintos según la tipología oficial: la segunda a “ejes mediterráneo-continentales poco mineralizados” y los tramos superiores de la primera zona a “ríos de montaña húmeda calcárea” (Fig. 12). Claramente estas dos zonas parecen tener altitud (Fig. 13), clima, vegetación y ríos muy distintos y deberían pertenecer a tipos distintos.
- esta falta aparente de coherencia de los tipos según la altitud se observa también en otras zonas y parece estar condicionada por la distancia a la desembocadura (Fig. 13).

En resumen la tipología del IBICAT₂₀₁₀/IBIMED no parece coherente y adecuada para el conjunto del Ebro (ni probablemente para el resto de España) seguramente porque se desarrolló solo con datos de Cataluña y en general no se puede extrapolar con seguridad un modelo a una zona o rango ambiental mucho más amplios. Además la tipología del IBICAT₂₀₁₀/IBIMED, a diferencia de la tipología oficial, no diferencia entre zonas calcáreas y silíceas, cuando se sabe que ambas zonas son bastante distintas en régimen hídrico, disponibilidad de nutrientes y productividad de peces. Cabe mencionar también que en Sostoa et al. (2010, 2011) no se muestra detalladamente el desarrollo metodológico de esta tipología, que se basa en la distribución histórica de las especies nativas y su posterior explicación con variables ambientales.

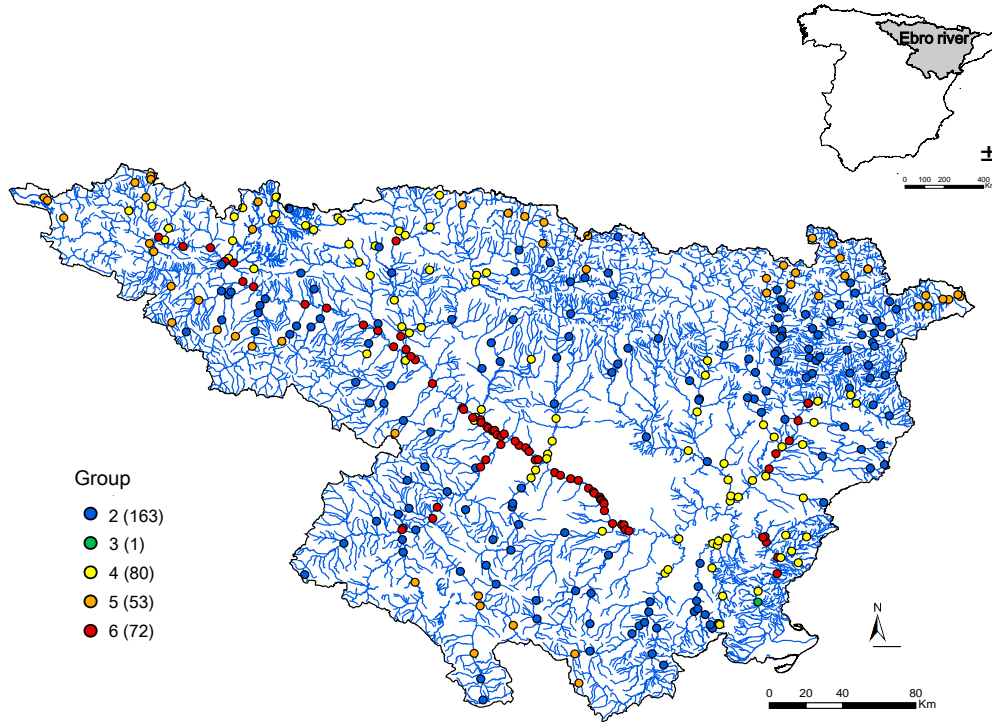


Figura 11. Tipología de ríos para el índice IBICAT₂₀₁₀/IBIMED

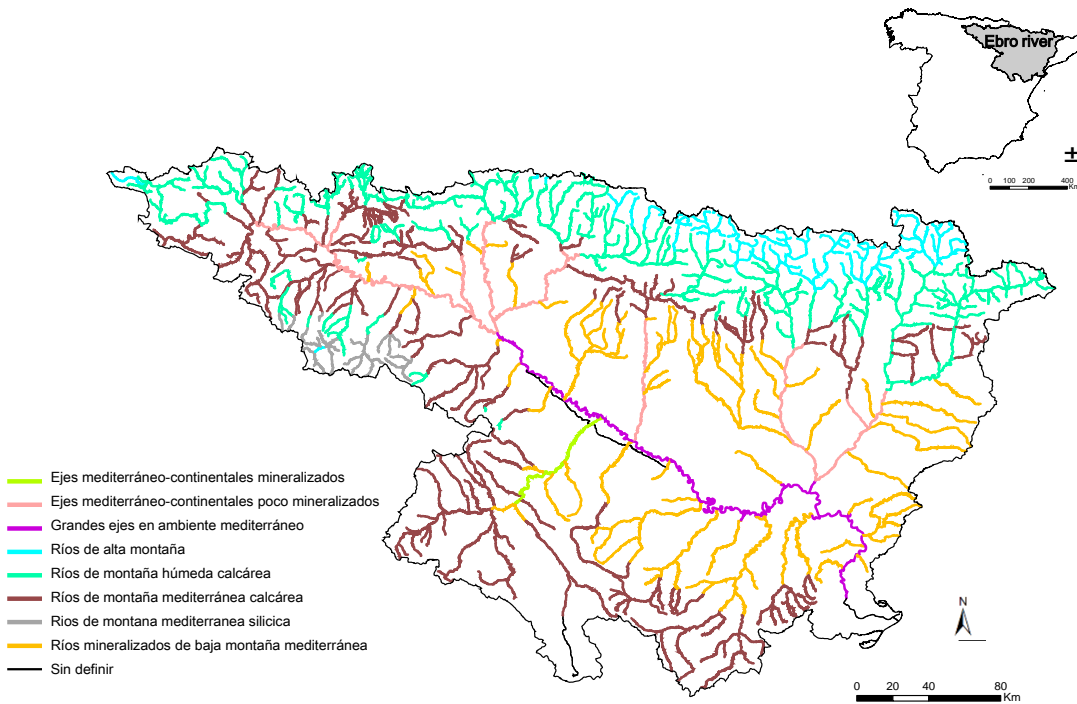


Figura 12. Tipología de ríos oficial en el Ebro (usada para el índice IBICAT2b)

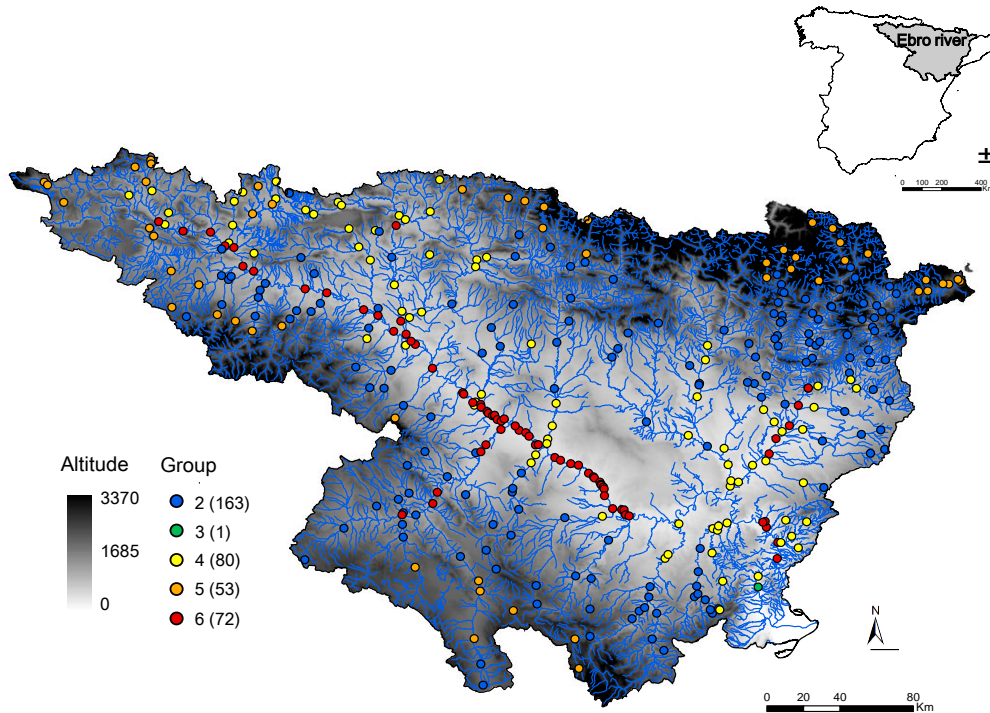


Figura 13. Tipología de ríos para el índices IBICAT₂₀₁₀/IBIMED con la altitud

En la Fig. 14 se muestra el estado ecológico para los distintos puntos de los que se muestrearon los peces según el IBICAT₂₀₁₀ y en la Tabla 10 las frecuencias de los distintos estados según la tipología (ver también sección siguiente donde se comparan los distintos índices). En la Fig. 15 se muestra el estado ecológico según el IBICAT2b y en la Tabla 11 sus frecuencias según la tipología oficial (Fig. 12). En la Fig. 16 se muestra la tipología según el EFI+, en la Fig. 17 el estado ecológico y en la Tabla 12 sus frecuencias para las dos tipologías. En general, los tres índices muestran un estado ecológico “muy bueno” o “bueno” en tramos de cabecera, “deficiente” o “malo” para el eje principal del Ebro y “moderado” en tramos intermedios. En la sección siguiente (5. Comparación e intercalibración de los Índices de peces) se comparan más detalladamente el resultado de los tres índices.

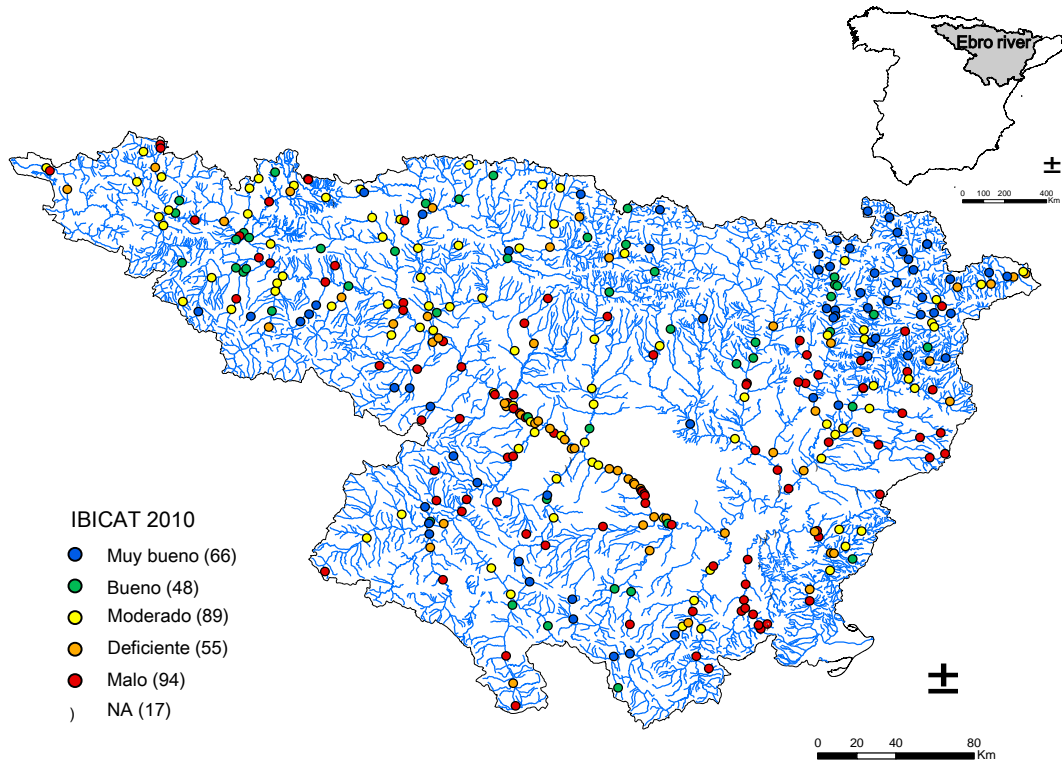


Figura 14. Estado ecológico según el índice IBICAT₂₀₁₀

Tabla 10. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice ibicat2010 por tipología

IBICAT2010	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
2	45	23	26	15	54	0
3	0	0	0	0	1	0
4	2	12	33	11	5	17
5	17	8	13	8	7	0
6	2	5	17	21	27	0

NA = "no asignado"

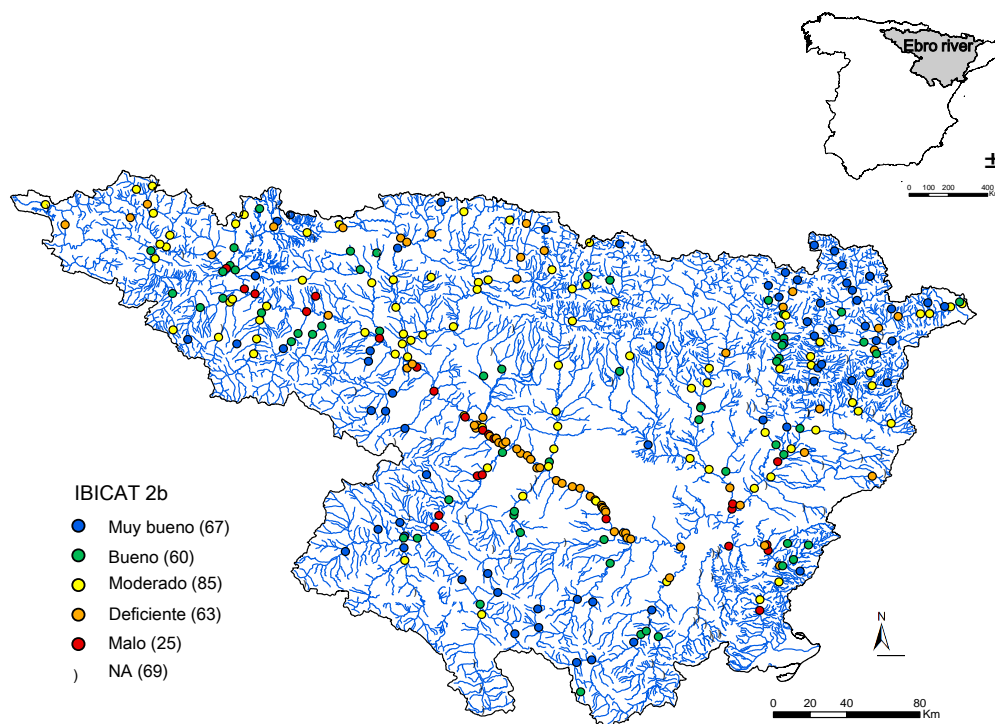


Figura 15. Estado ecológico según el índice IBICAT2b

Tabla 11. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice ibicat2b por tipología

IBICAT2b	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA	<i>n</i> total
109	6	20	7	8	0	28	69
112	28	14	18	0	0	26	86
115	1	8	26	4	10	0	49
116	0	1	1	0	4	0	6
117	0	0	5	32	11	0	48
126	19	16	27	15	0	11	88
127	13	1	1	4	0	1	20
NA	0	0	0	0	0	3	3

NA = "no asignado"

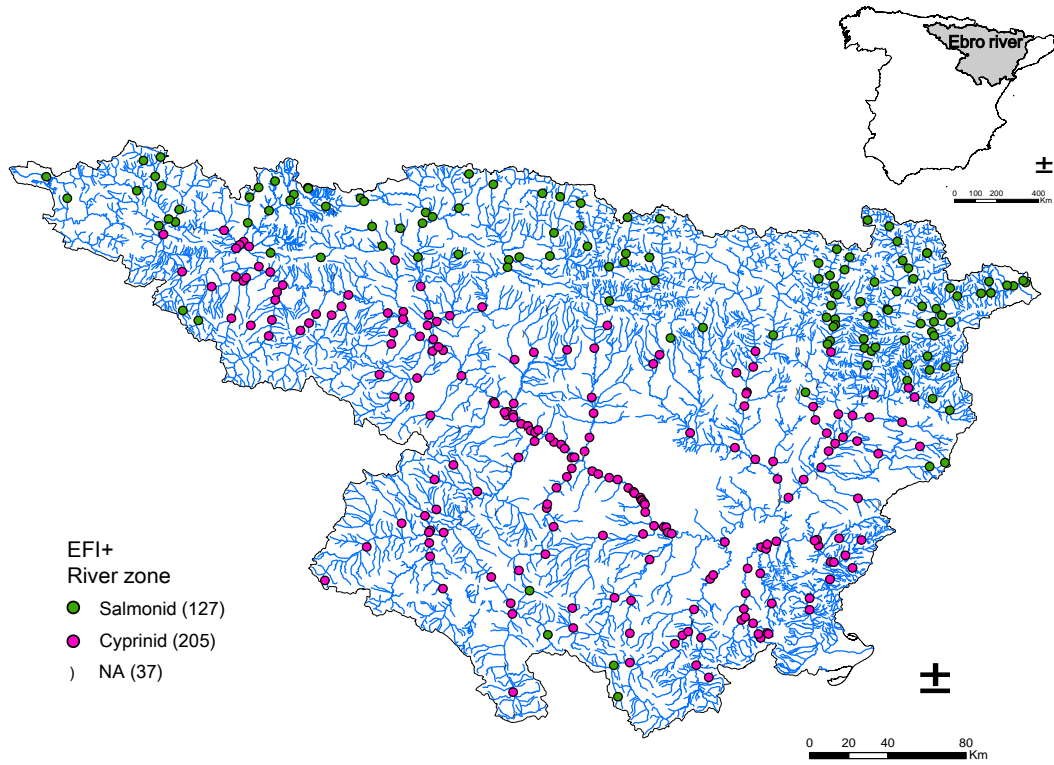


Figura 16. Tipología de ríos usada por el índice EFI+ (*EFI+ river zone*)

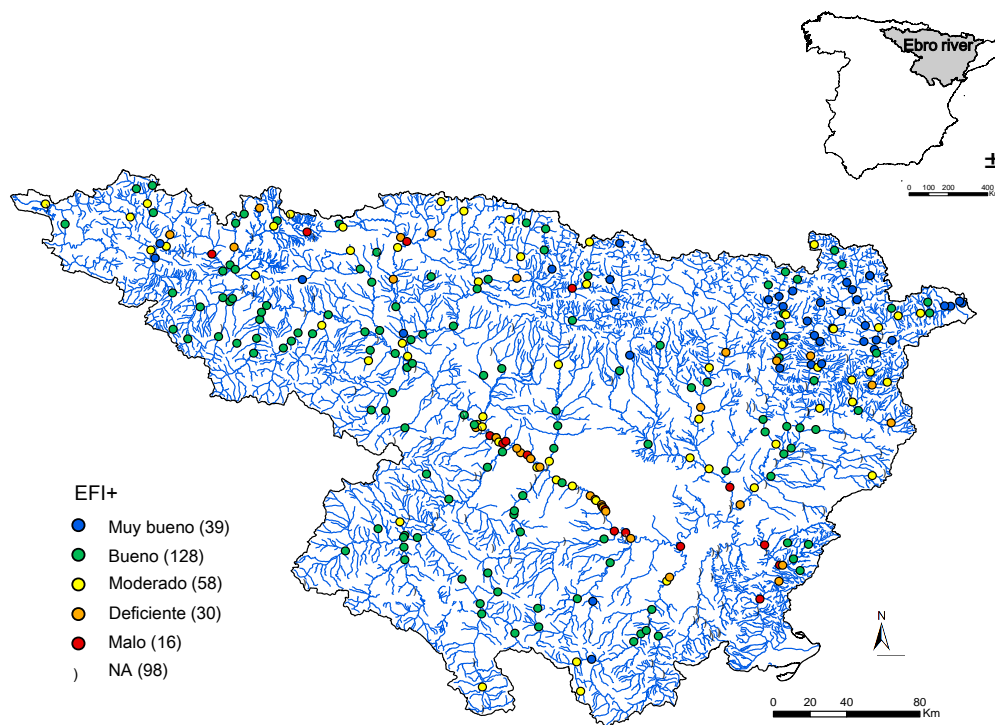


Figura 17. Estado ecológico según el índice EFI+

Tabla 12. Tabla de frecuencias de estado ecológico según el índice efi+ por tipología

EFI+	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA	<i>n</i> total
Salmonid	34	38	32	12	3	8	127
Cyprinid	5	90	26	18	13	53	205
NA	0	0	0	0	0	37	37



5. COMPARACIÓN E INTERCALIBRACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PECES

Si se considera el valor de los índices, los tres índices están correlacionados significativamente y la mayor correlación es entre IBICAT2b e IBICAT₂₀₁₀ y la menor entre EFI+ e IBICAT₂₀₁₀ (Fig. 18, Tabla 13). En la Fig. 19 se dan todas las funciones lineales que permiten convertir un índice en otro aunque los coeficientes de correlación son moderados. Los coeficientes de correlación observados por Segurado et al. (2014) eran similares: 0.571 entre EFI+ e IBICAT₂₀₁₀ y 0.701 entre EFI+ e IBICAT₂₀₁₀.

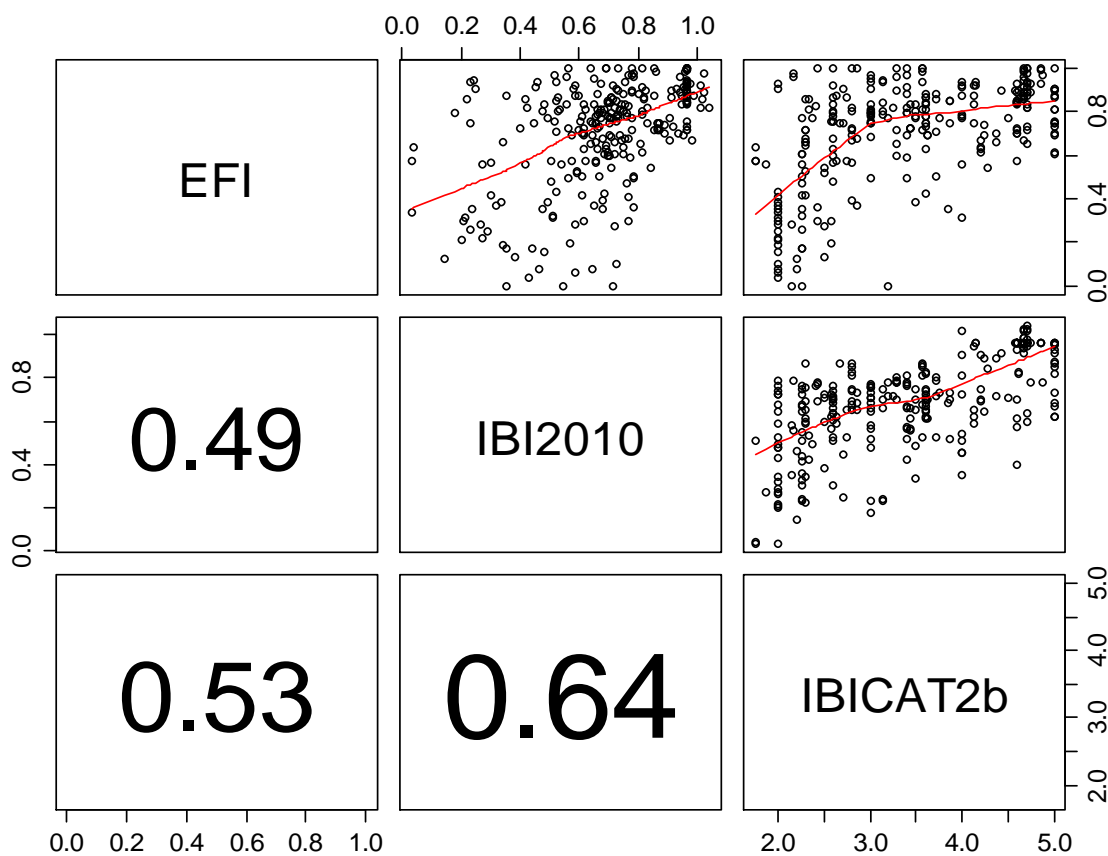


Figura 18. Matriz de dispersión de los tres índices de peces

Tabla 13. Matriz de correlación de los tres índices de peces.

	EFI	IBI2010	IBICAT2b
EFI	1.000	0.000	0.000
IBI2010	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	0.532	0.641	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

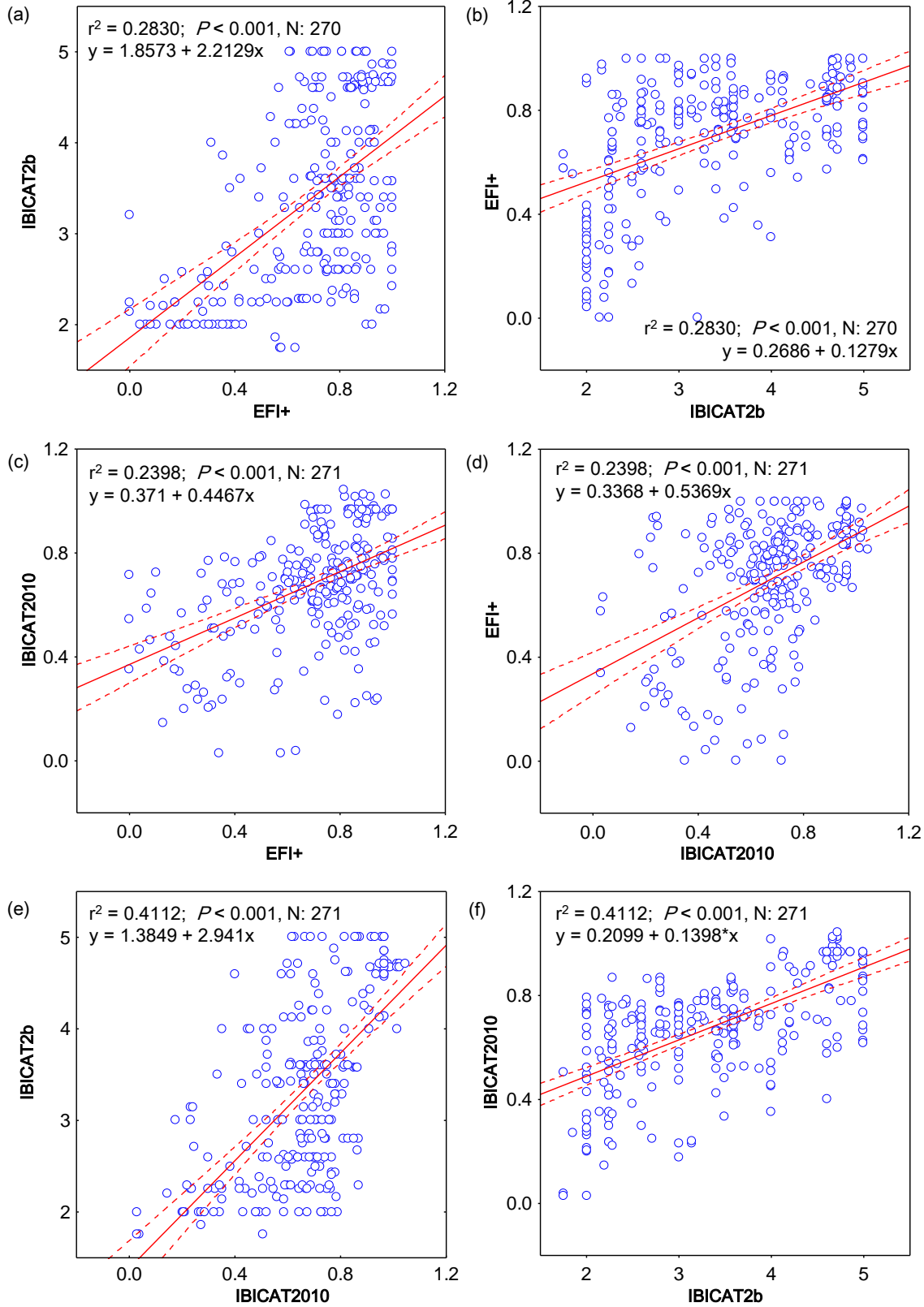


Figura 19. Regresiones lineales entre los tres índices de peces

Si se considera la coincidencia en la clasificación del estado ecológico (Tablas 14-18, Fig. 20-21), las conclusiones serían:

- 1) la coincidencia es máxima entre IBICAT2b y IBICAT₂₀₁₀ (54.4% de los casos) y mínima entre IBICAT₂₀₁₀ y EFI+ (32.1%)
- 2) IBICAT2b y IBICAT₂₀₁₀ coinciden bastante excepto en las clases “malo” (IBICAT₂₀₁₀ tiene un porcentaje mucho mayor) y “NA” no asignado; en cambio IBICAT2b y EFI+ coinciden más en estas dos clases; EFI+ asigna más casos a estado ecológico “Bueno” y menos a “Muy bueno” (especialmente en los tramos “ciprinícolas”)(Fig. 21)
- 3) en IBICAT2b se clasifican como “malo” los tramos secos o sin capturas del tipo 115, 116 y 117, lo cual nos parece justificado por tratarse los tres tipos de “grande ejes” que probablemente no deberían estar nunca secos o sin peces. En EFI+ no se asigna estado ecológico a los tramos secos o sin peces, lo cual será correcto si ello se debe a variación natural o poca capturabilidad de peces pero no lo será si se debe a perturbaciones antrópicas como fuerte extracción de agua que a veces deja tramos secos artificialmente (Benejam et al. 2010).
- 4) el porcentaje mucho mayor de “malo” en IBICAT₂₀₁₀ (26% and lugar de < 7%, Tabla 14) se debe a que este índice clasifica como “malo” cualquiera tramo del tipo 2, 3, 5 y 6 que esté seco o donde no se hayan obtenido capturas durante la pesca. Esto nos parece poco justificado para los tipos 2, 3 y 5 (este último “alta montaña”) porque la mayoría de ríos mediterráneos tienen tramos de cabecera que de forma natural no tienen peces o se secan en verano.
- 5) el punto anterior (4) no se consideró en la intercalibración (Segurado et al. 2014), donde solo se consideraron los valores de EQR y no la categoría final de estado ecológico, por lo que la relación entre ambos índices es peor de la que muestra la intercalibración.
- 6) finalmente, nótese que a diferencia de los otros dos índices, IBICAT₂₀₁₀/IBIMED resulta a veces en algunos valores de EQR superiores a 1, como también puede observarse en la Fig. 4 de Segurado et al. (2014).

Tabla 14. Tabla de frecuencias (porcentaje entre paréntesis) de estado ecológico según los tres índices.

Estado Ecológico	IBICAT2010	IBICAT2b	EFI
Muy bueno	66 (17.9)	67 (18.2)	39 (10.6)
Bueno	48 (13.0)	60 (16.3)	128 (34.7)
Moderado	89 (24.1)	85 (23.0)	58 (15.7)
Deficiente	55 (14.9)	63 (17.1)	30 (8.1)
Malo	94 (25.5)	25 (6.8)	16 (4.3)
NA	17 (4.6)	69 (18.7)	98 (26.6)

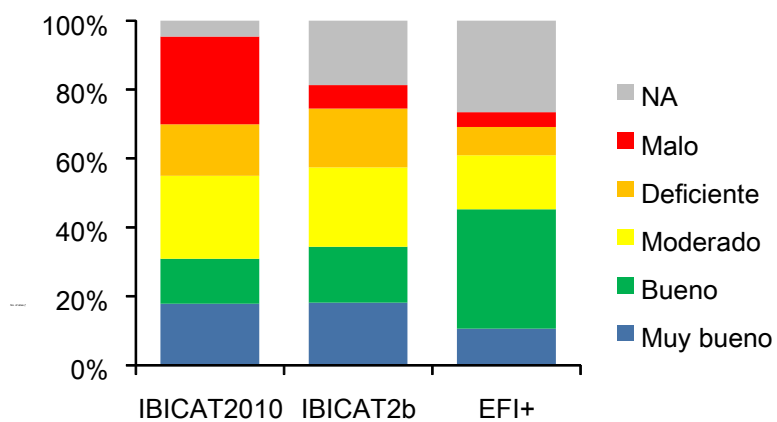


Figura 20. Frecuencias de estado ecológico según los tres índices.

Tabla 15. Comparación de frecuencias de estado ecológico según IBICAT₂₀₁₀ e IBICAT2B

IBICAT ₂₀₁₀ \ IBICAT2b	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
Muy bueno	52	12	1	1	0	0
Bueno	5	13	24	6	0	0
Moderado	8	25	43	13	0	0
Deficiente	1	8	14	31	0	1
Malo	1	2	2	12	22	55
NA	0	0	1	0	3	13

Tabla 16. Comparación de frecuencias de estado ecológico según IBICAT₂₀₁₀ y EFI+

IBICAT ₂₀₁₀ \ EFI+	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
Muy bueno	21	33	12	0	0	0
Bueno	8	27	7	5	0	1
Moderado	7	49	25	5	2	1
Deficiente	3	16	10	12	12	2
Malo	0	3	4	8	2	77
NA	0	0	0	0	0	17

Tabla 17. Comparación de frecuencias de estado ecológico según EFI+ e IBICAT2B

IBICAT2b \ EFI+	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
Muy bueno	17	38	12	0	0	0
Bueno	7	40	8	5	0	0
Moderado	12	42	21	6	3	1
Deficiente	3	8	16	19	13	4
Malo	0	0	0	0	0	25
NA	0	0	1	0	0	68

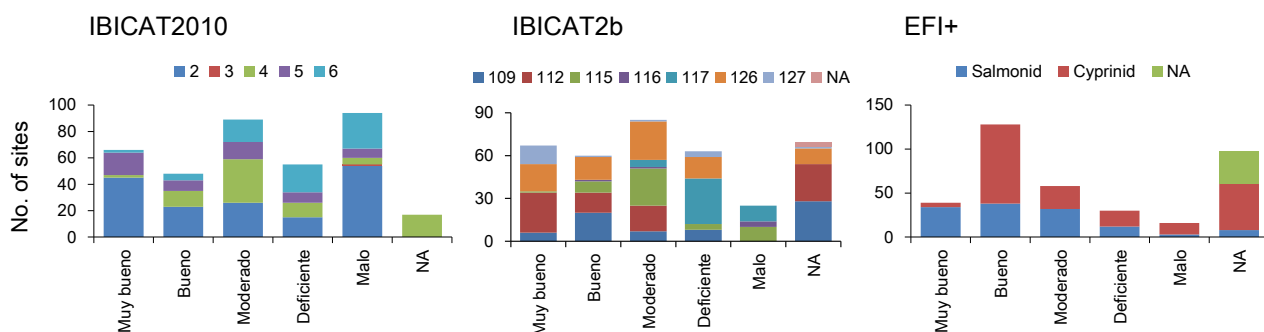


Figura 21. Frecuencias de estado ecológico según los tres índices por tipología

Tabla 18. Tablas de frecuencias de estado ecológico según los tres índices por tipología

IBICAT ₂₀₁₀	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
2	45	23	26	15	54	0
3	0	0	0	0	1	0
4	2	12	33	11	5	17
5	17	8	13	8	7	0
6	2	5	17	21	27	0

IBICAT2b	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
109	6	20	7	8	0	28
112	28	14	18	0	0	26
115	1	8	26	4	10	0
116	0	1	1	0	4	0
117	0	0	5	32	11	0
126	19	16	27	15	0	11
127	13	1	1	4	0	1
NA	0	0	0	0	0	3

EFI+	Muy bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo	NA
Salmonid	34	38	32	12	3	8
Cyprinid	5	90	26	18	13	53
NA	0	0	0	0	0	37

6. CALCULO DE LAS PRESIONES AMBIENTALES Y VALIDACIÓN DE LOS INDICES DE PECES

A partir de las correlaciones observadas en el capítulo 3, se han realizado análisis de componentes principales (PCA) que resumen la variación espacial natural (Fig. 22) y las presiones de cambios de uso del suelo (Fig. 24 y 26), de alteración hidrológica (Fig. 28, 30 y 32), de calidad de hábitat (Fig. 34), de calidad del agua (Fig. 36, 38 y 40) y el conjunto de presiones (Fig. 42). Por ejemplo, el primer eje del primer PCA (Fig. 22) distingue a la derecha (valores positivos) los puntos aguas abajo, con mayor área de drenaje, orden del río, distancia al nacimiento y secundariamente menor altitud, de los puntos aguas arriba (a la izquierda, valores negativos) con características opuestas. El segundo eje del primer PCA (Fig. 22) distingue con valores positivos puntos con mayor distancia a la desembocadura y menor pendiente y viceversa; estas dos variables están menos correlacionadas con las destacadas por el primer eje.

Si se correlacionan todas estas presiones (ejes del PCA) con los tres índices, las conclusiones serían:

- los valores de los tres índices disminuyen significativamente aguas abajo (correlación negativa con el primer eje del PCA) y toman valores más altos en tramos de cabecera (menor área de drenaje, orden del río, distancia al nacimiento y mayor altitud) (Fig. 23, Tabla 19)
- los valores de los tres índices disminuyen significativamente en tramos con mayores porcentajes de usos agrícolas o urbanos aguas arriba y aumentan con uso forestal (Fig. 25 y 27, Tabla 20-21). IBICAT₂₀₁₀ responde mejor a usos agrícolas e IBICAT2b a usos urbanos.
- los valores de los tres índices disminuyen significativamente con la alteración hidrológica (mayor número y área de embalses aguas arriba, extracción de agua, etc.), especialmente en el caso del IBICAT2b (Fig. 29, 31 y 33, Tabla 22-24)
- los tres índices están poco relacionados con la calidad del hábitat (medida durante los muestreos de peces); IBICAT₂₀₁₀ está un poco más relacionado con las alteraciones hidromorfológicas y EFI+ e IBICAT2b más con la calidad del bosque de ribera (Fig. 34-35, Tabla 25)
- los valores de los tres índices aumentan significativamente con la calidad del agua, más en el caso del EFI+ y menos en el caso de IBICAT₂₀₁₀ (Fig. 36-41, Tabla 26-28)
- el primer eje de un PCA con todas las presiones corresponde sobre todo a la calidad del

hábitat y el segundo a la alteración hidrológica y calidad del agua; los tres índices están correlacionados significativamente con los dos ejes; IBICAT₂₀₁₀ un poco más con la calidad del hábitat pero bastante peor que los otros dos a la alteración hidrológica y la calidad del agua (Fig. 42-43, Tabla 29)

- los tres índices están poco relacionados (aunque significativamente) con los dos componentes del QBR (Fig. 44, Tabla 30)
- los tres índices están relacionados significativamente con la distancia de azudes o embalses tanto aguas arriba como aguas abajo (Fig. 45, Tabla 31) pero los resultados son opuestos a los esperados, ya que los índices mejoran con la proximidad de embalses (Fig. 46), porque el tramo principal del Ebro es el que tiene peores valores de los índices pero menos embalses próximos. Si se considera la no presencia de embalses aguas arriba se observa que la proporción de puntos con estado ecológico bueno o muy bueno es alta, excepto por el IBICAT₂₀₁₀ por sus problemas metodológicos mencionados anteriormente (Fig. 47)

Los análisis que acabamos de mencionar son correctos pero no permiten diferenciar los efectos diferenciales de las distintas presiones, que en parte se producen conjuntamente (Murphy et al. 2013). En general, aguas abajo todas las presiones aumentan: ¿qué parte de la degradación de peces se debe a la alteración hidrológica (falta de caudal adecuado que afecta el hábitat reproductivo y la disponibilidad de hábitat) y qué parte a la contaminación? Para responder a esta pregunta, un análisis de partición de la varianza en distintos componentes (calidad del agua, calidad del hábitat, alteración hidrológica y cambios del uso del suelo) muestra:

- los índices explican en torno de un 26-37% de la variación: IBICAT_{2b} es el que explica más e IBICAT₂₀₁₀ el que menos (Fig. 49)
- la mayoría de la variación no es puramente de una presión sino “conjunta”: por ejemplo el 16% de la variación del IBICAT_{2b} se explica por cambios en los usos del suelo asociados a alteración hidrológica y disminución de la calidad del agua (Fig. 49)
- para los tres índices (en menor medida para IBICAT₂₀₁₀) la mayor parte de la variación conjunta corresponde a cambios en los usos del suelo asociados a alteración hidrológica y disminución de la calidad del agua (Fig. 49)
- la variación de IBICAT_{2b} y EFI+ está más relacionada con la alteración hidrológica y la calidad del agua; la de IBICAT₂₀₁₀ está menos relacionada con la alteración hidrológica y más con los cambios del uso del suelo puros (7%), no asociados a las otras tres presiones (cosa difícil de explicar) (Fig. 49)

- si se añade la variación espacial (descriptores fisiográficos como la distancia al nacimiento del río), quitando el hábitat, ya que este análisis no permite más de 4 conjuntos, se explica mayor variación (28-43%) pero con conclusiones muy similares a las ya expuestas (Fig. 50)

Un análisis de regresión múltiple (Tabla 32), que es parecido al anterior, muestra conclusiones muy similares: IBICAT₂₀₁₀ es el índice que explica menos variación de las presiones y solo está relacionado con los cambios del uso del suelo; IBICAT2b y EFI+ dependen significativamente de alteración hidrológica y calidad del agua (de forma independiente).

Geography	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	3.7616	1.1555	0.7916
Proportion Explained	0.6269	0.1926	0.1319
Cumulative Proportion	0.6269	0.8195	0.9515

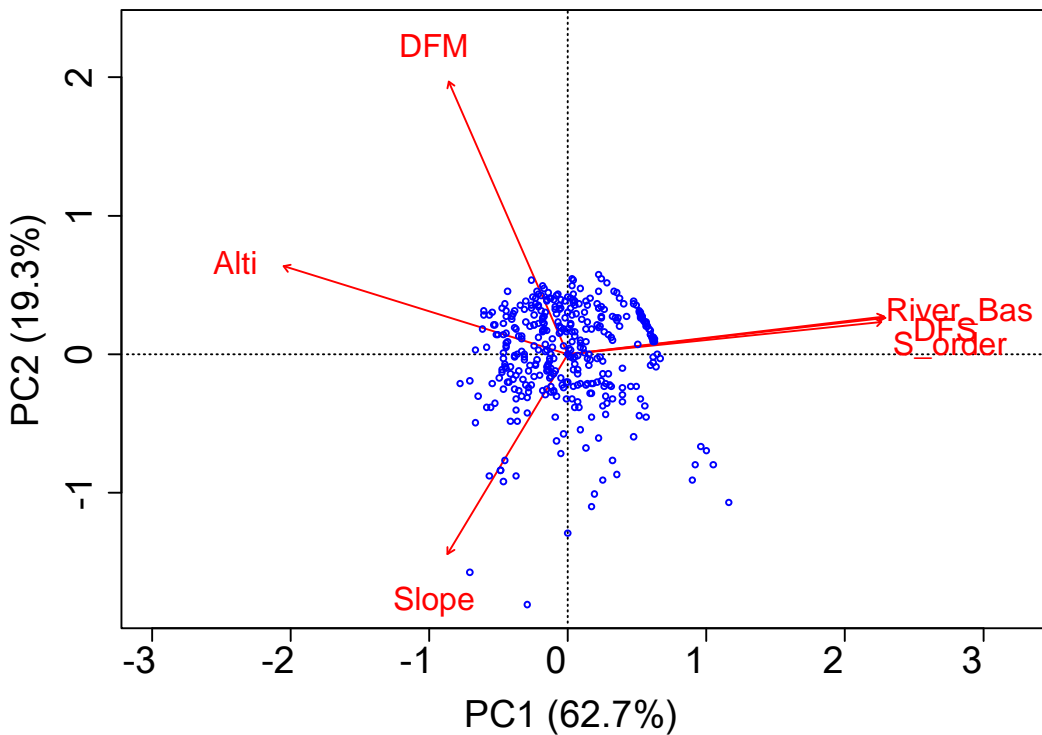


Figura 22. Análisis de componentes principales (PCA) de los datos fisiográficos

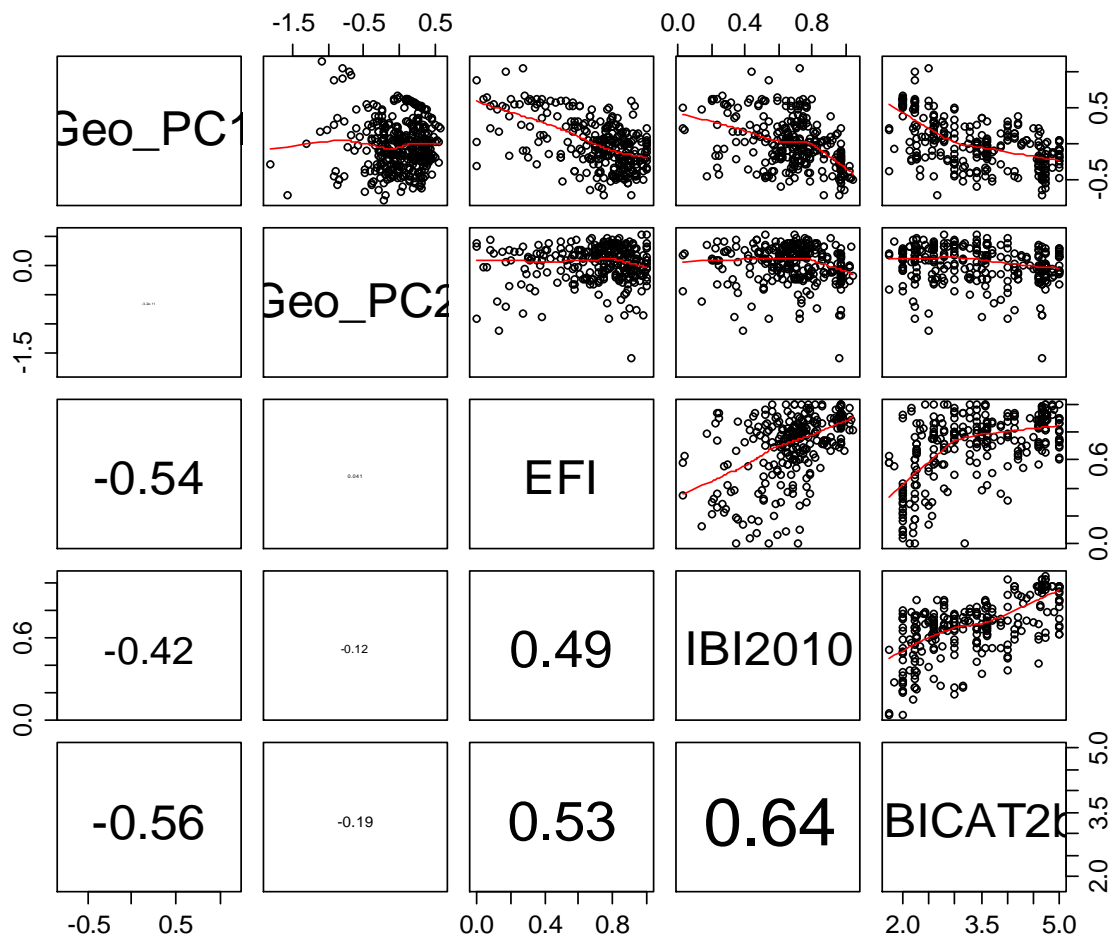


Figura 23. Relación entre los descriptores fisiográficos (ejes PCA) y los tres índices de peces

Tabla 19. Matriz de correlación de los descriptores fisiográficos (ejes pca) y los tres índices de peces

	Geo_PC1	Geo_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Geo_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Geo_PC2	0.000	1.000	0.502	0.057	0.002
EFI	-0.540	0.040	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.420	-0.120	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.560	-0.190	0.530	0.640	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

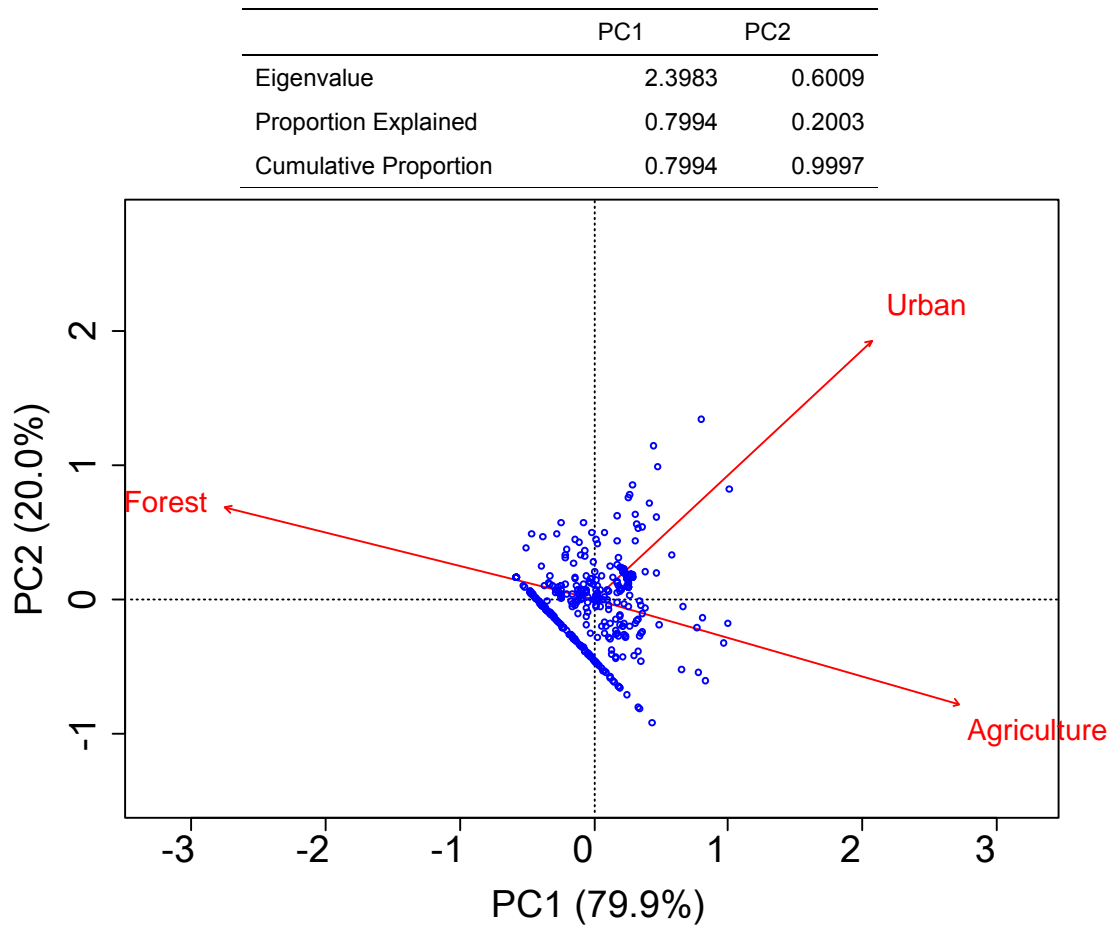


Figura 24. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de uso del suelo

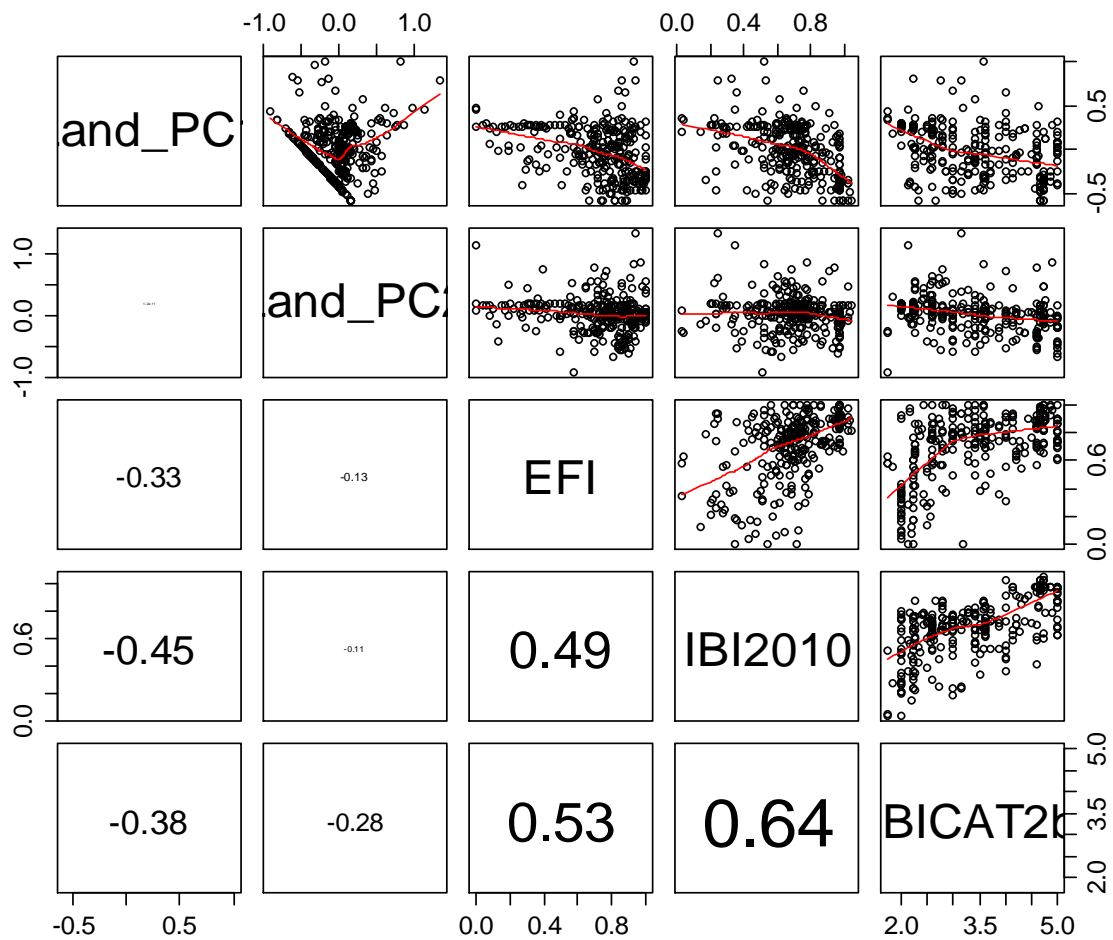


Figura 25. Matriz de dispersión de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces

Tabla 20. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	Land_PC1	Land_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Land_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Land_PC2	0.000	1.000	0.028	0.067	0.000
EFI	-0.330	-0.130	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.450	-0.110	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.380	-0.280	0.530	0.640	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

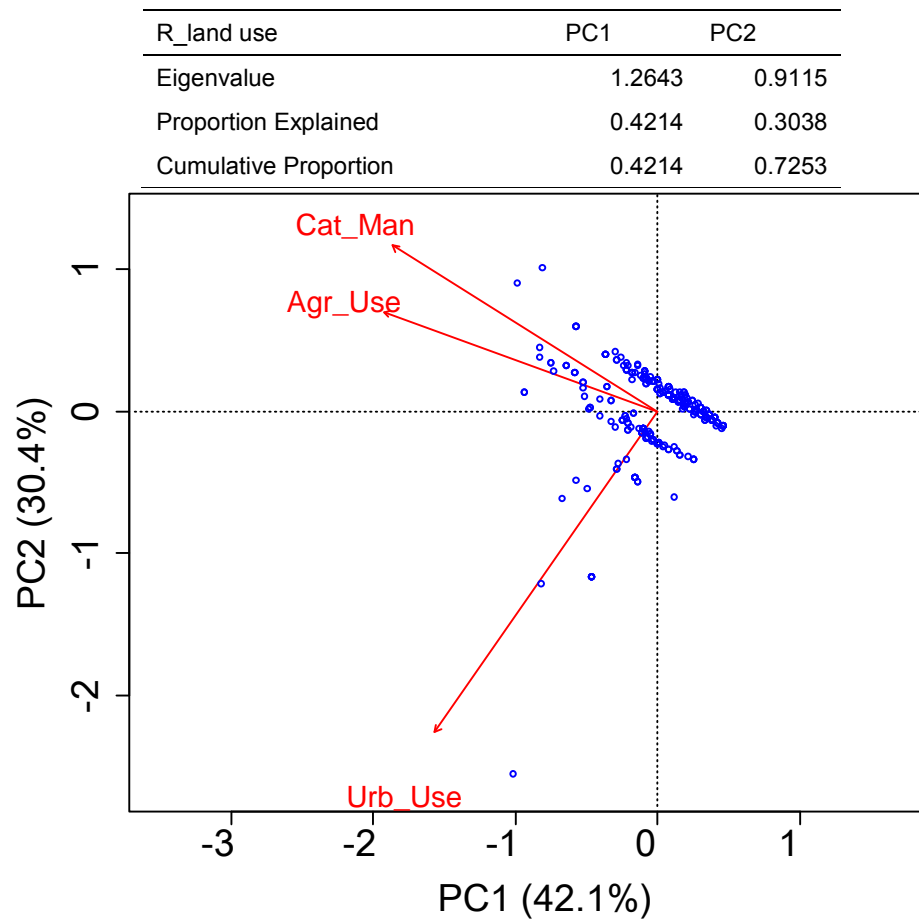


Figura 26. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores del uso del suelo (datos IMPRESS)

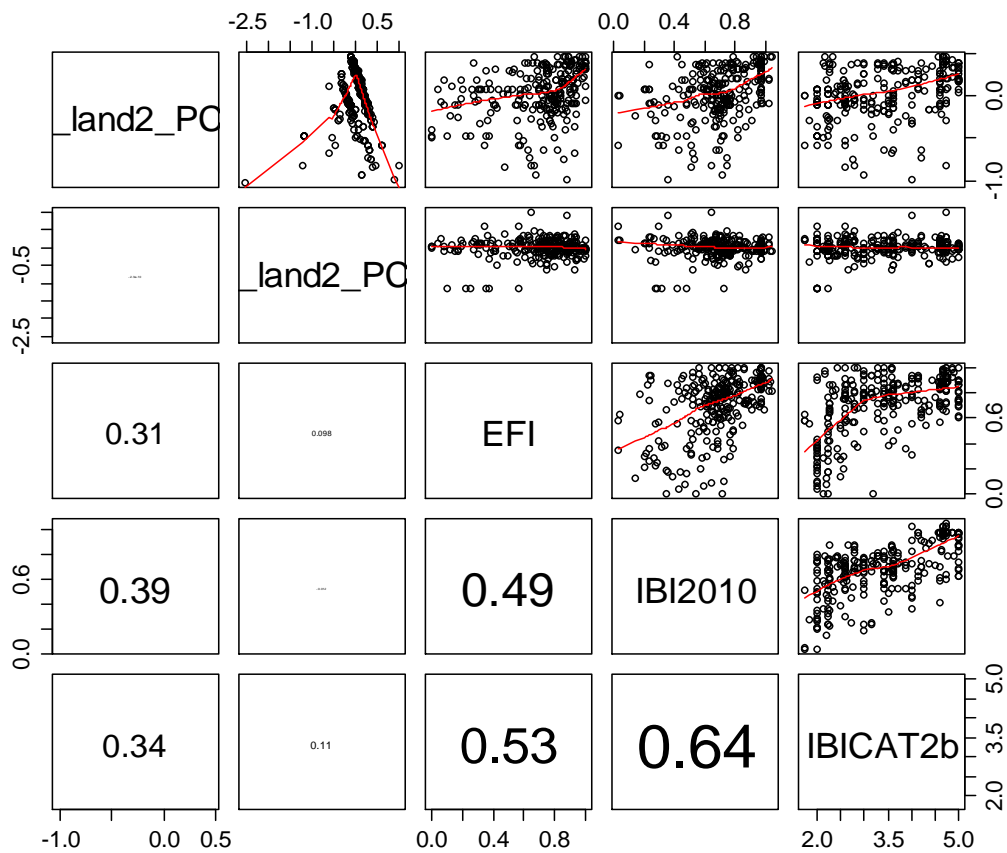


Figura 27. Relación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces

Tabla 21. Matriz de correlación de los indicadores de uso del suelo (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces.

	R_land2_PC1	R_land2_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
R_land2_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
R_land2_PC2	0.000	1.000	0.121	0.843	0.086
EFI	0.310	0.100	1.000	0.000	0.000
IBI2010	0.390	-0.010	0.530	1.000	0.000
IBICAT2b	0.340	0.110	0.550	0.640	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

H_alteration	PC1	PC2
Eigenvalue	2.7768	0.16582
Proportion Explained	0.9256	0.05527
Cumulative Proportion	0.9256	0.98088

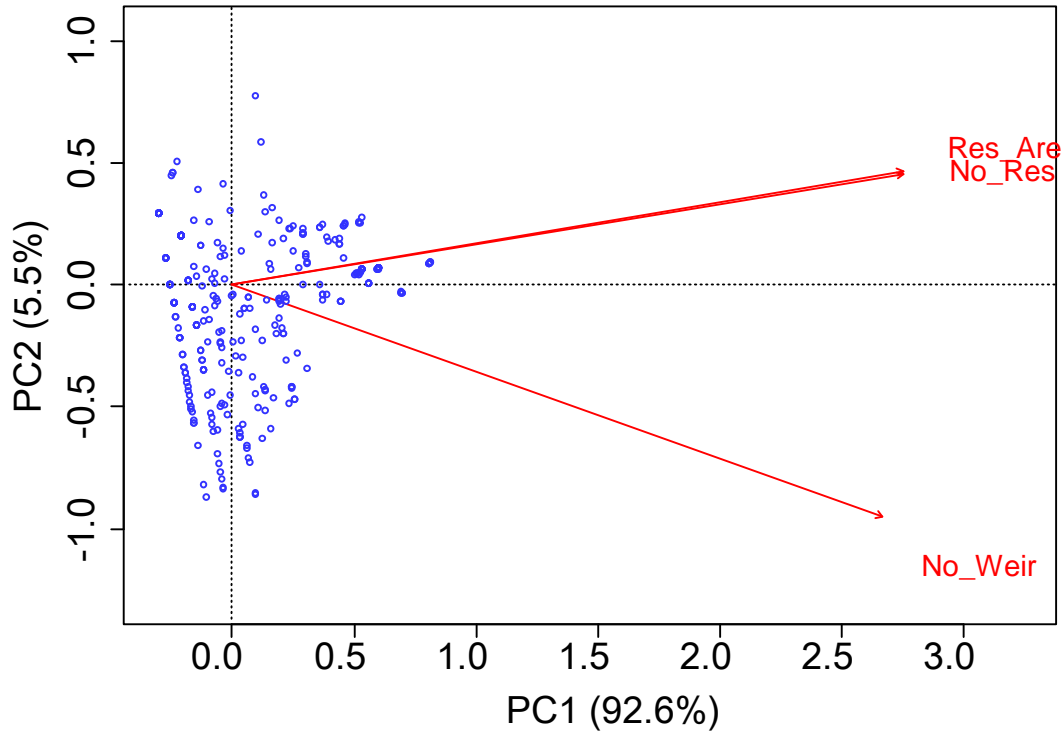


Figura 28. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de alteración hidrológica

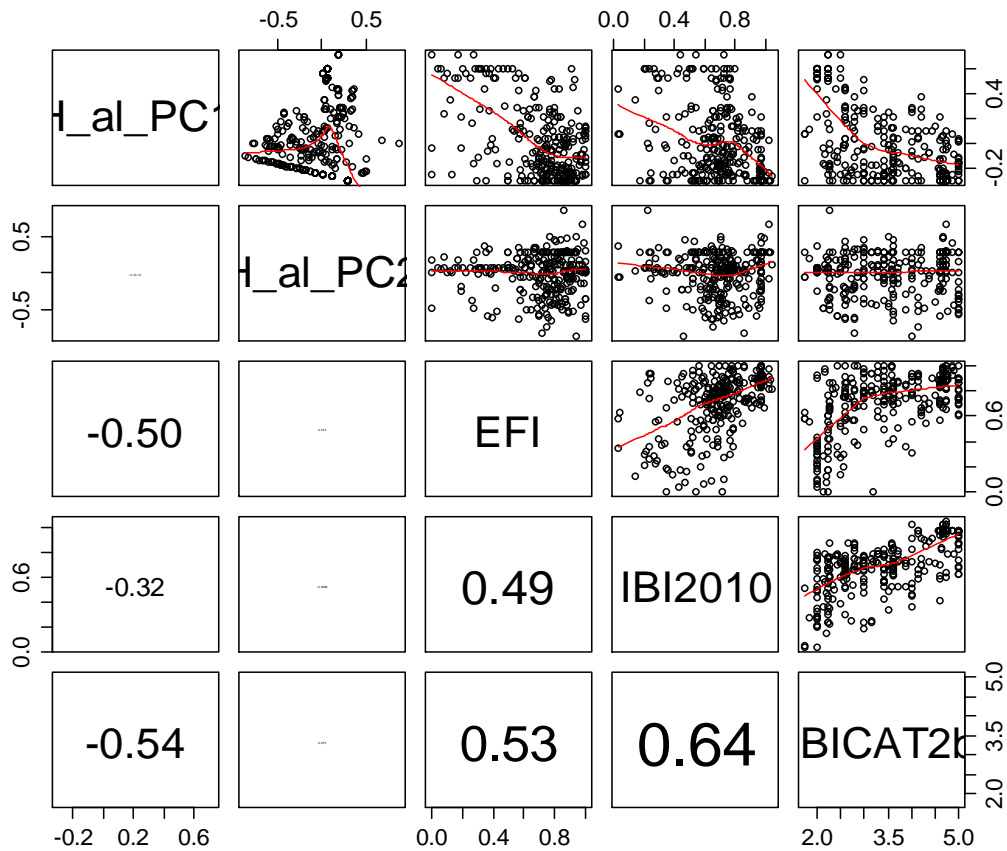


Figura 29. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y los tres índices de peces

Tabla 22. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	H_al_PC1	H_al_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
H_al_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
H_al_PC2	0.000	1.000	0.010	0.879	0.802
EFI	-0.500	0.010	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.320	-0.010	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.540	0.020	0.530	0.640	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

H_alteration_IMPRESS	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	1.2176	1.1183	0.9861
Proportion Explained	0.3044	0.2796	0.2465
Cumulative Proportion	0.3044	0.584	0.8305

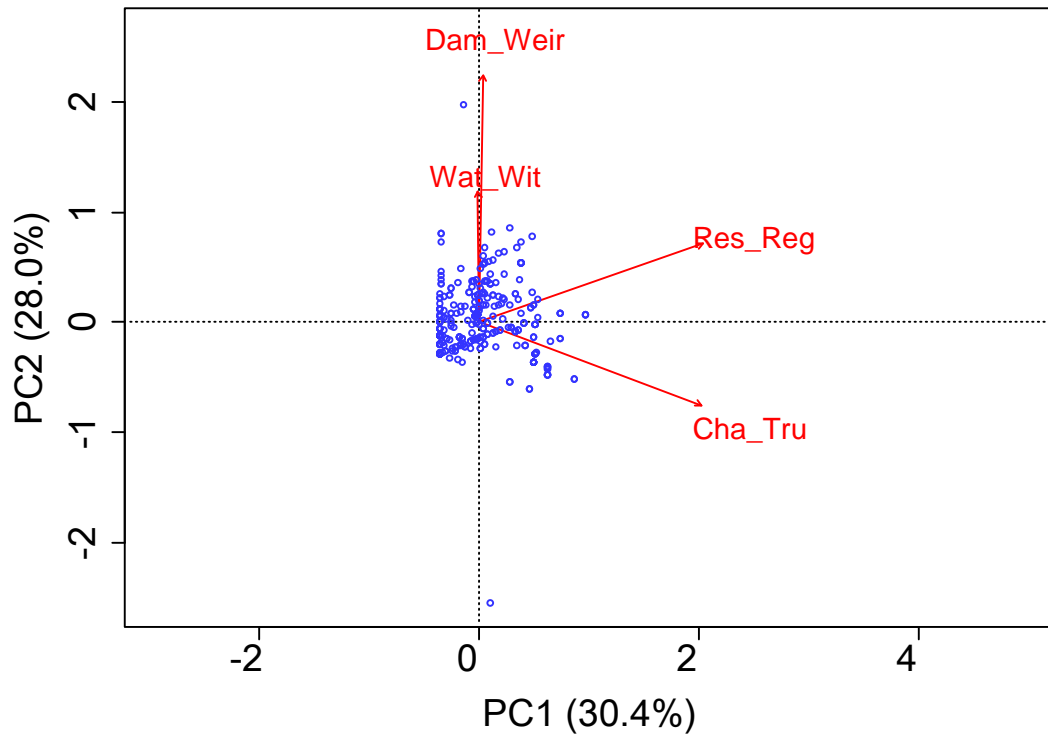


Figura 30. Análisis de componentes principales (PCA) de los indicadores de alteración hidrológica (datos IMPRESS)

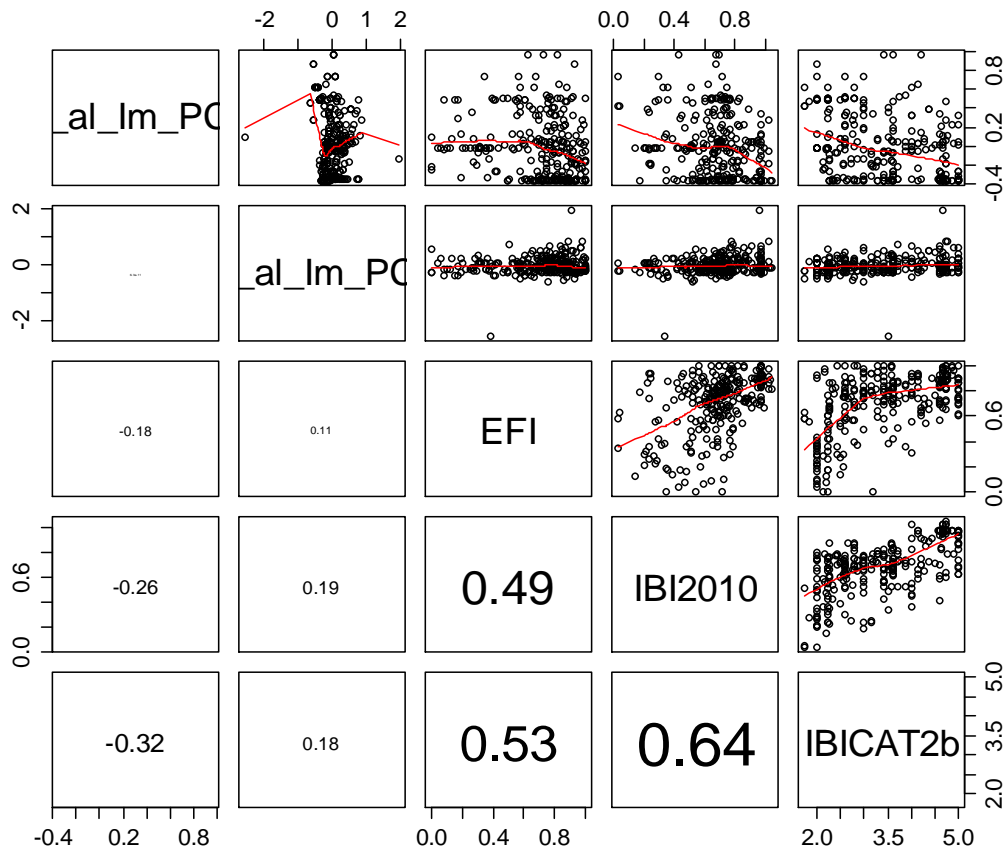


Figura 31. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces

Tabla 23. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y los tres índices de peces.

	H_al_Im_PC1	H_al_Im_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
H_al_Im_PC1	1.000	1.000	0.004	0.000	0.000
H_al_Im_PC2	0.000	1.000	0.084	0.002	0.003
EFI	-0.180	0.110	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.260	0.190	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.320	0.180	0.530	0.630	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

Tot_alteration_biplot	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	3.2863	1.1361	0.9905
Proportion Explained	0.4695	0.1623	0.1415
Cumulative Proportion	0.4695	0.6318	0.7733

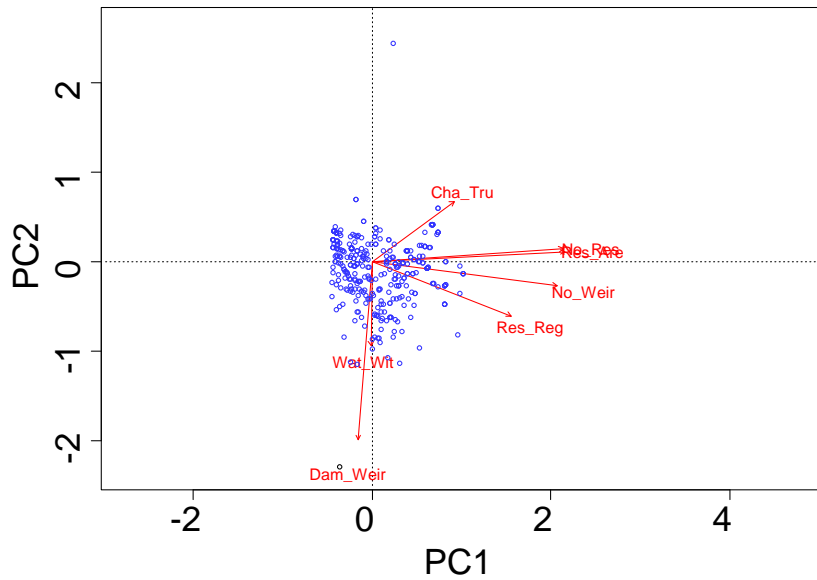


Figura 32. Análisis de componentes principales (PCA) del conjunto de indicadores de alteración hidrológica

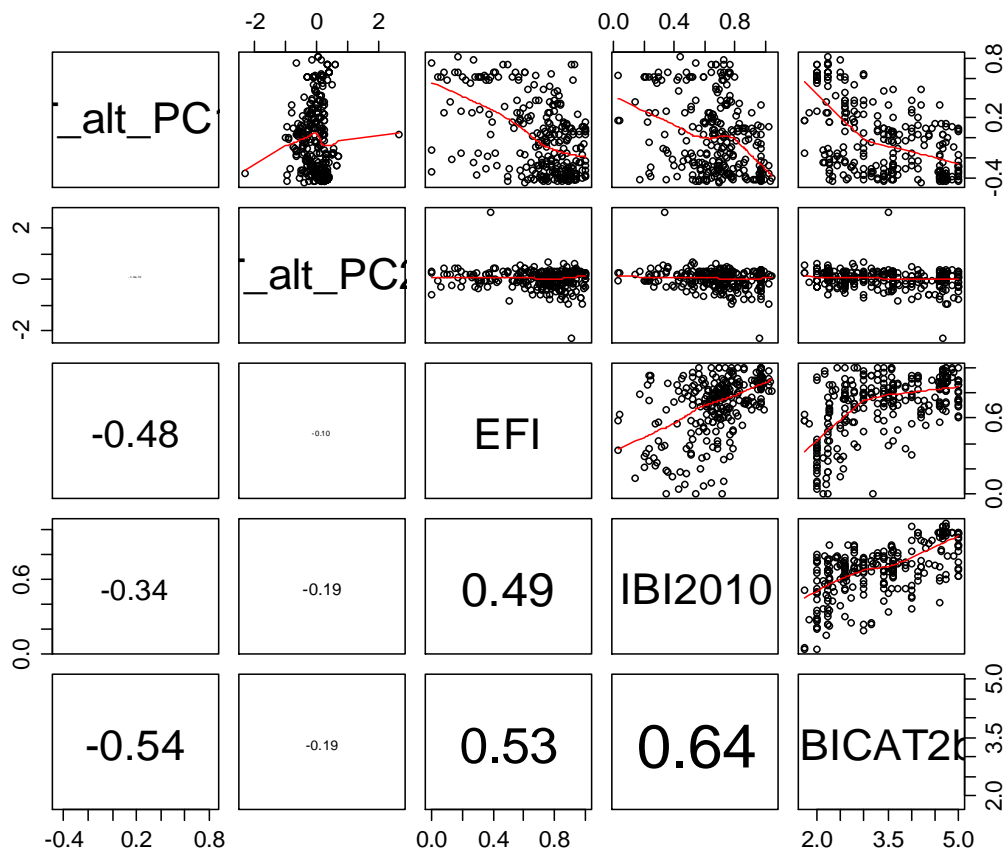


Figura 33. Relación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros datos compilados) y los tres índices de peces.

Tabla 24. Matriz de correlación de los indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros datos compilados) y los tres índices de peces.

	T_alt_PC1	T_alt_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
T_alt_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
T_alt_PC2	0.000	1.000	0.092	0.002	0.002
EFI	-0.480	-0.100	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.340	-0.190	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.540	-0.190	0.530	0.630	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

Habitat	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue	6.727	1.939	0.998
Proportion Explained	0.517	0.149	0.077
Cumulative Proportion	0.517	0.667	0.743

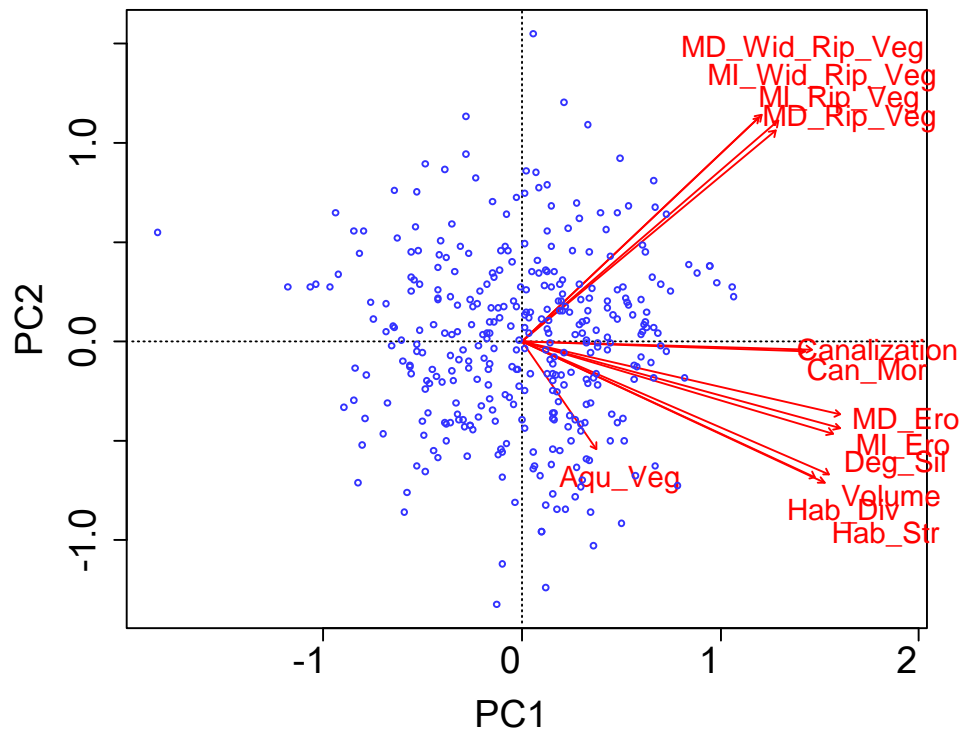


Figura 34. Análisis de componentes principales (PCA) de los datos de hábitat del muestreo de peces

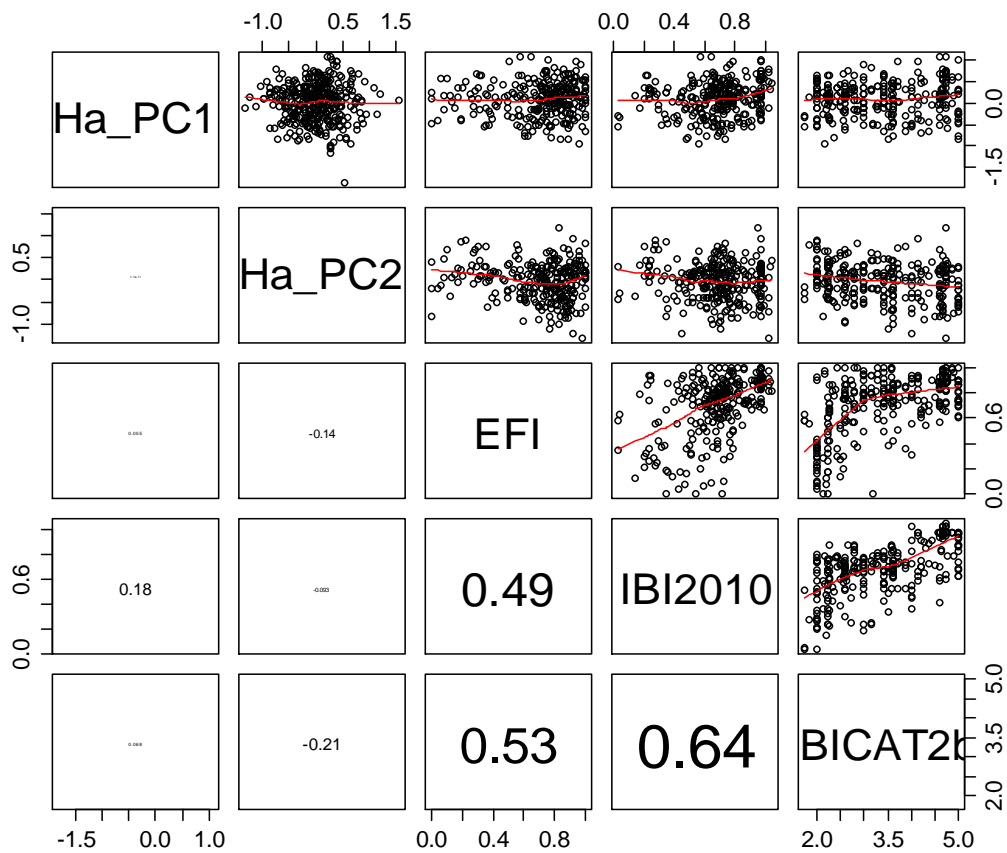


Figura 35. Relación de los indicadores de calidad de hábitat (ejes PCA) y los tres índices de peces.

Tabla 25. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de hábitat (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	Ha_PC1	Ha_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Ha_PC1	1.000	1.000	0.369	0.004	0.267
Ha_PC2	0.000	1.000	0.018	0.127	0.001
EFI	0.060	-0.140	1.000	0.000	0.000
IBI2010	0.180	-0.090	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	0.070	-0.210	0.540	0.650	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

Water quality	PC1	PC2	PC3	PC4
Eigenvalue	3.027	1.565	1.164	0.952
Proportion Explained	0.336	0.174	0.129	0.106
Cumulative Proportion	0.336	0.51	0.64	0.745

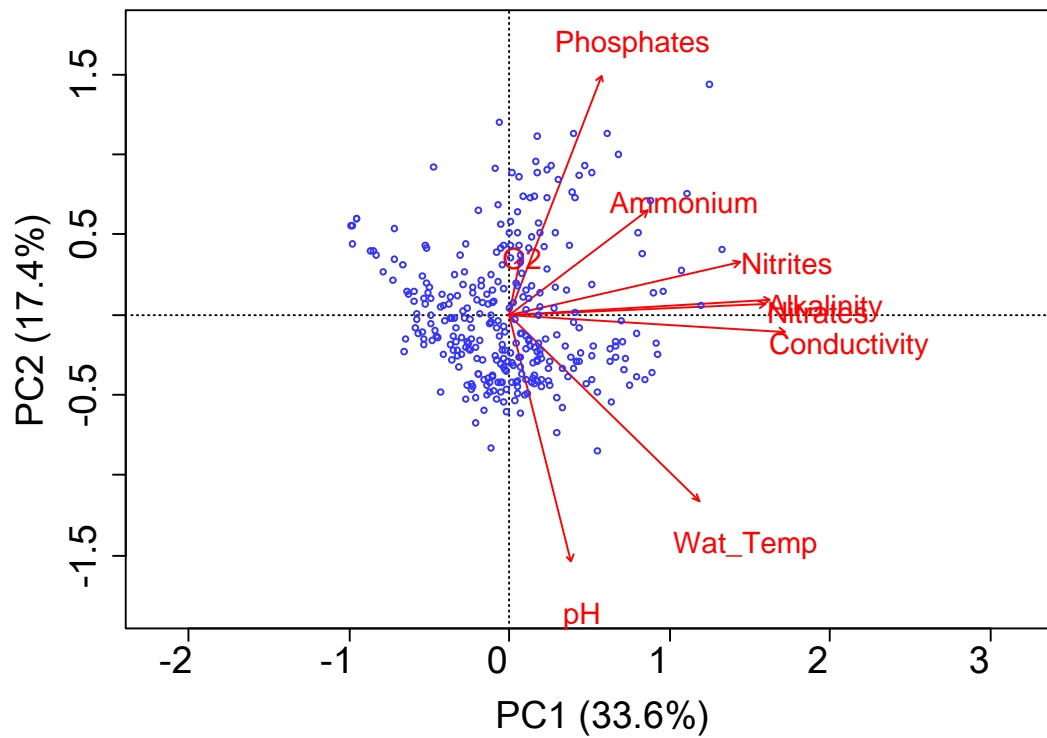


Figura 36. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables de físico-química del agua

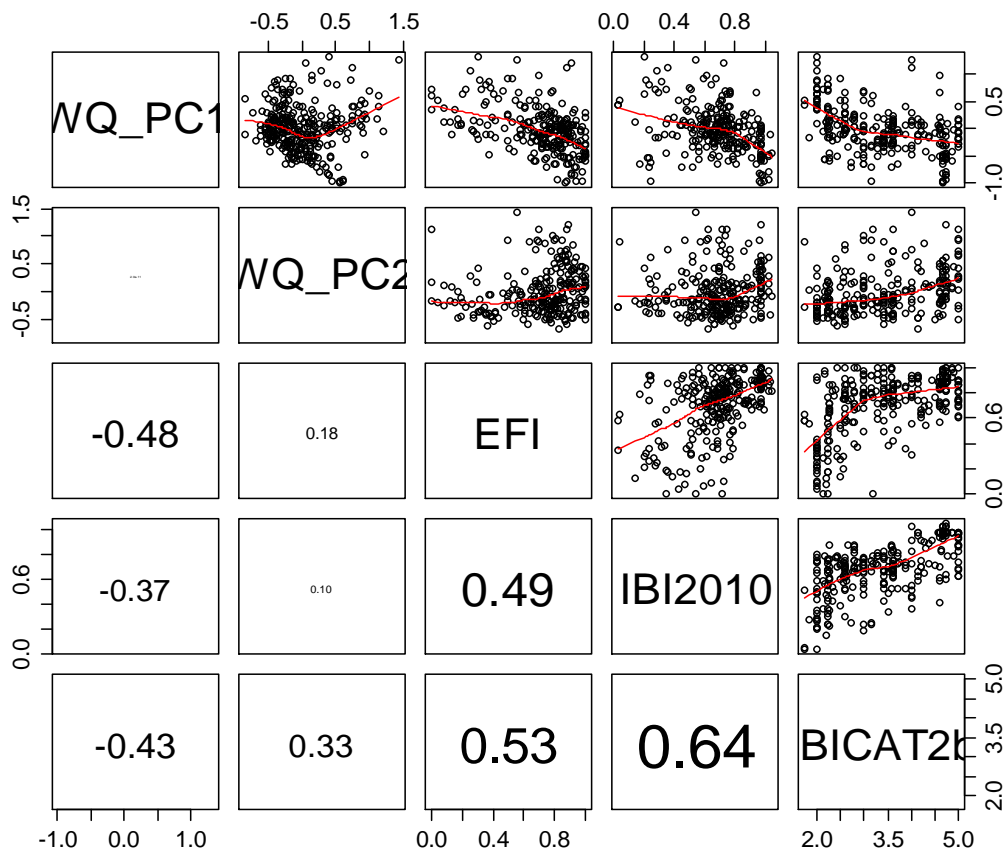


Figura 37. Relación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA) y los tres índices de peces.

Tabla 26. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	WQ_PC1	WQ_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
WQ_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
WQ_PC2	0.000	1.000	0.005	0.114	0.000
EFI	-0.480	0.180	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.370	0.100	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.430	0.330	0.520	0.620	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

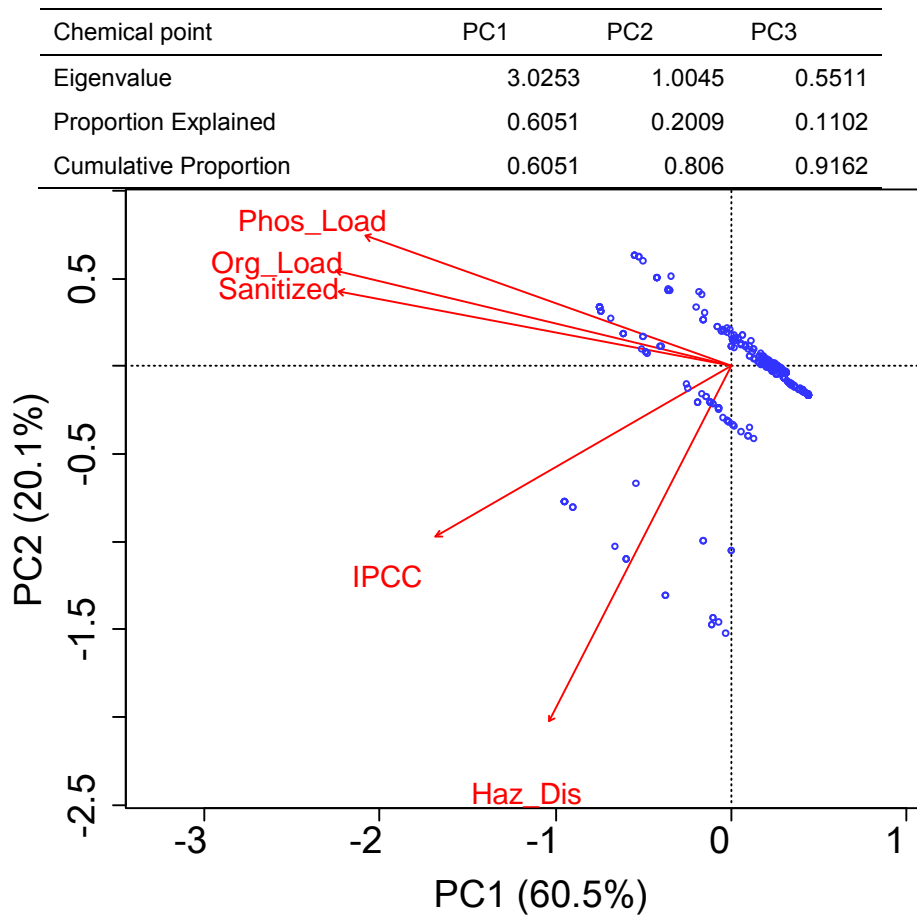


Figura 38. Análisis de componentes principales (PCA) de la contaminación química (datos IMPRESS)

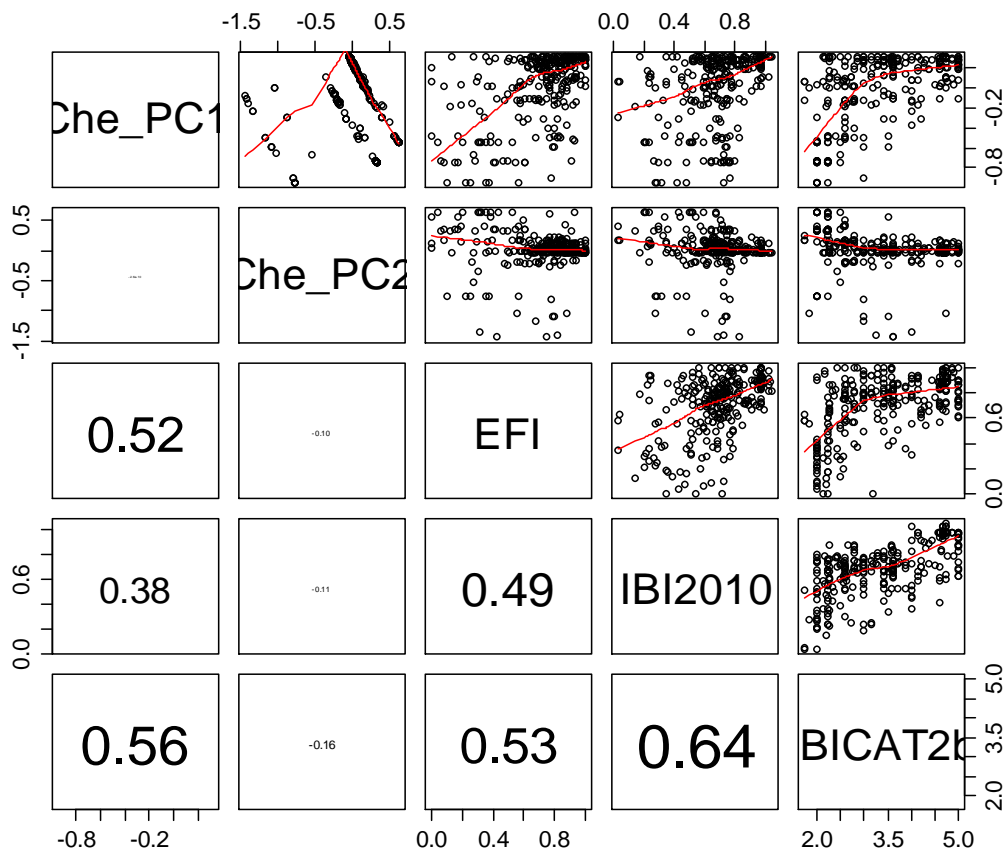


Figura 39. Relación de los indicadores de contaminación química (ejes PCA) y los tres índices de peces.

Tabla 27. Matriz de correlación de los indicadores de contaminación química (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	Che_PC1	Che_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Che_PC1	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Che_PC2	0.000	1.000	0.103	0.073	0.008
EFI	0.520	-0.100	1.000	0.000	0.000
IBI2010	0.380	-0.110	0.490	1.000	0.000
IBICAT2b	0.560	-0.160	0.530	0.630	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

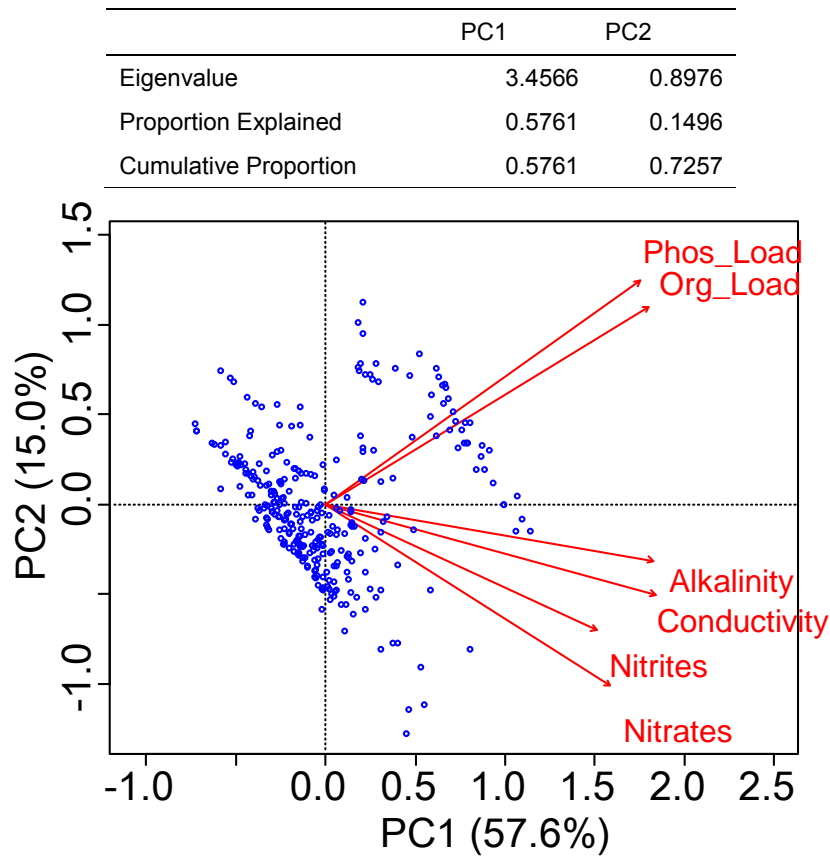


Figura 40. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables de físico-química del agua (datos IMPRESS combinados con datos del muestreo de peces)

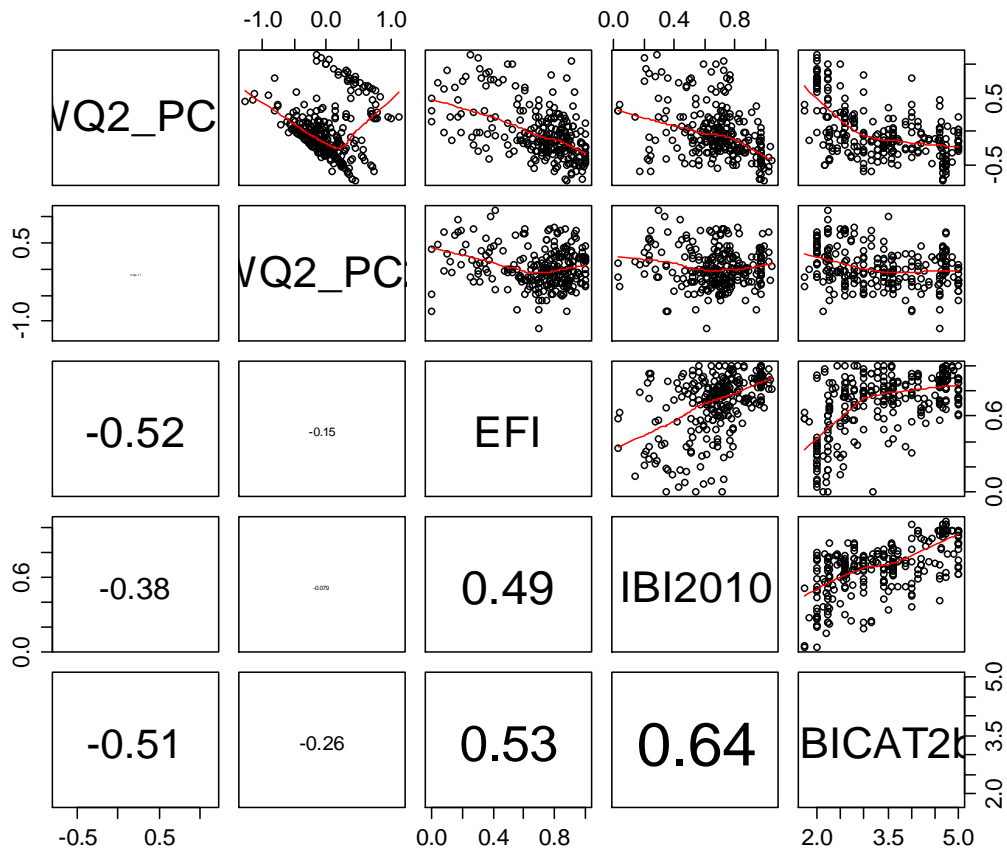


Figura 41. Relación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros compilados) y los tres índices de peces.

Tabla 28. Matriz de correlación de los indicadores de calidad de agua (ejes PCA combinando datos IMPRESS y otros compilados) y los tres índices de peces.

	WQ2_PC1	WQ2_PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
WQ2_PC1	1.000	0.900	0.000	0.000	0.000
WQ2_PC2	0.008	1.000	0.018	0.201	0.000
EFI	-0.519	-0.150	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.393	-0.082	0.474	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.497	-0.258	0.515	0.615	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Eigenvalue	7.491	6.178	2.279	1.514	1.140	0.995
Proportion Explained	0.300	0.247	0.091	0.061	0.046	0.040
Cumulative Proportion	0.300	0.547	0.638	0.698	0.744	0.784

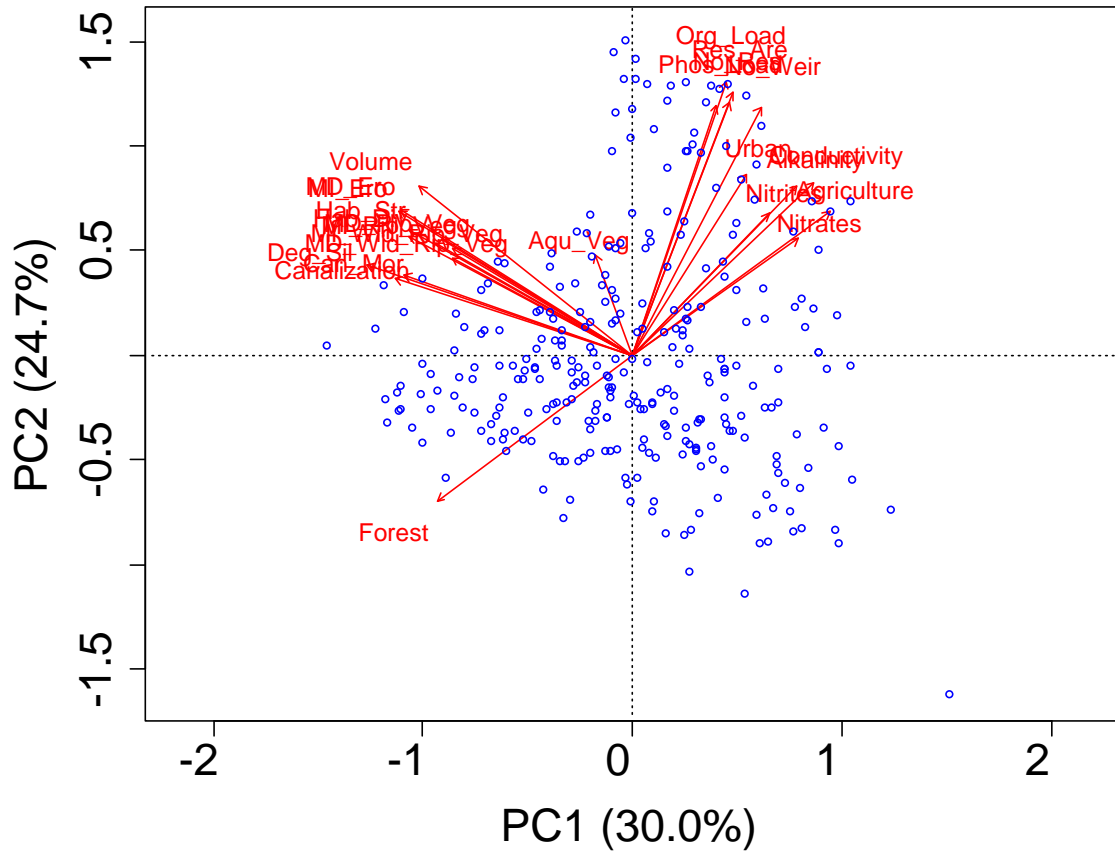


Figura 42. Análisis de componentes principales (PCA) del conjunto de presiones ambientales (uso del suelo, alteración hidrológica, calidad del hábitat y del agua)

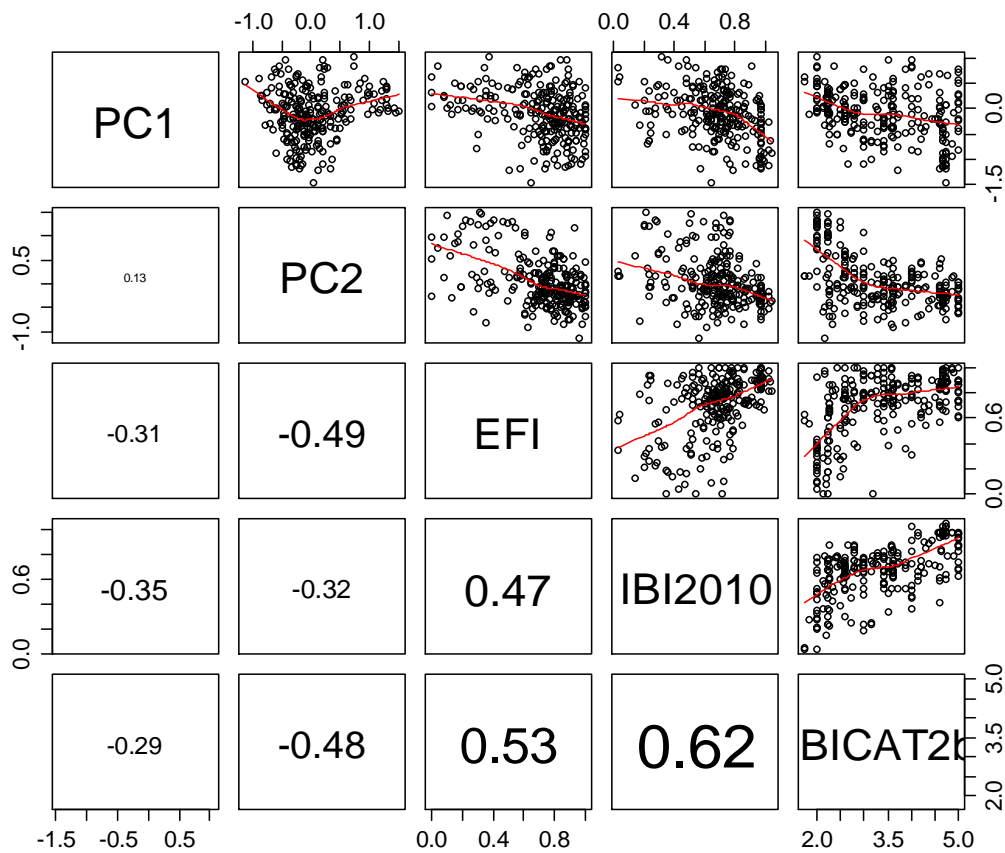


Figura 43. Relación de las medidas globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y los tres índices de peces.

Tabla 29. Matriz de correlación de las medidas globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y los tres índices de peces.

	PC1	PC2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
PC1	1.000	0.051	0.000	0.000	0.000
PC2	0.126	1.000	0.000	0.000	0.000
EFI	-0.311	-0.486	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.352	-0.325	0.474	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.289	-0.481	0.527	0.624	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

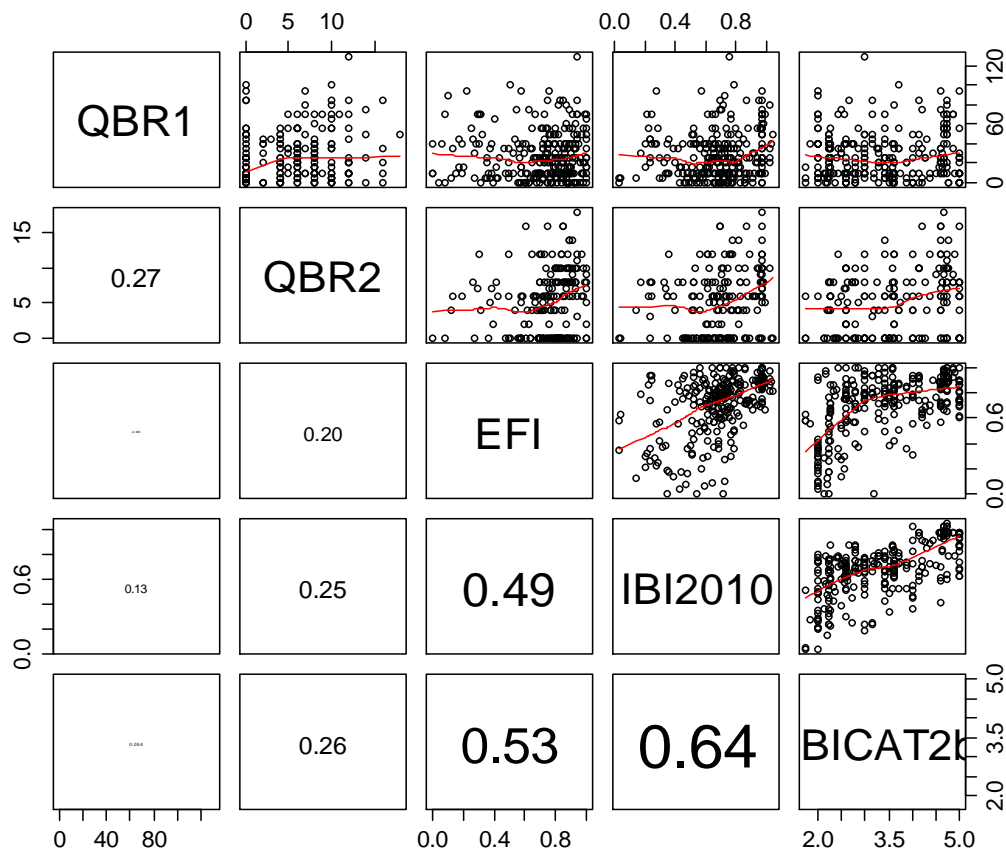


Figura 44. Relación de los índices QBR y los tres índices de peces.

Tabla 30. Matriz de correlación de los índices QBR y los tres índices de peces.

	QBR1	QBR2	EFI	IBI2010	IBICAT2b
QBR1	1.000	0.012	0.029	0.003	0.025
QBR2	0.186	1.000	0.004	0.000	0.000
EFI	0.162	0.215	1.000	0.000	0.000
IBI2010	0.221	0.263	0.376	1.000	0.000
IBICAT2b	0.166	0.260	0.414	0.621	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

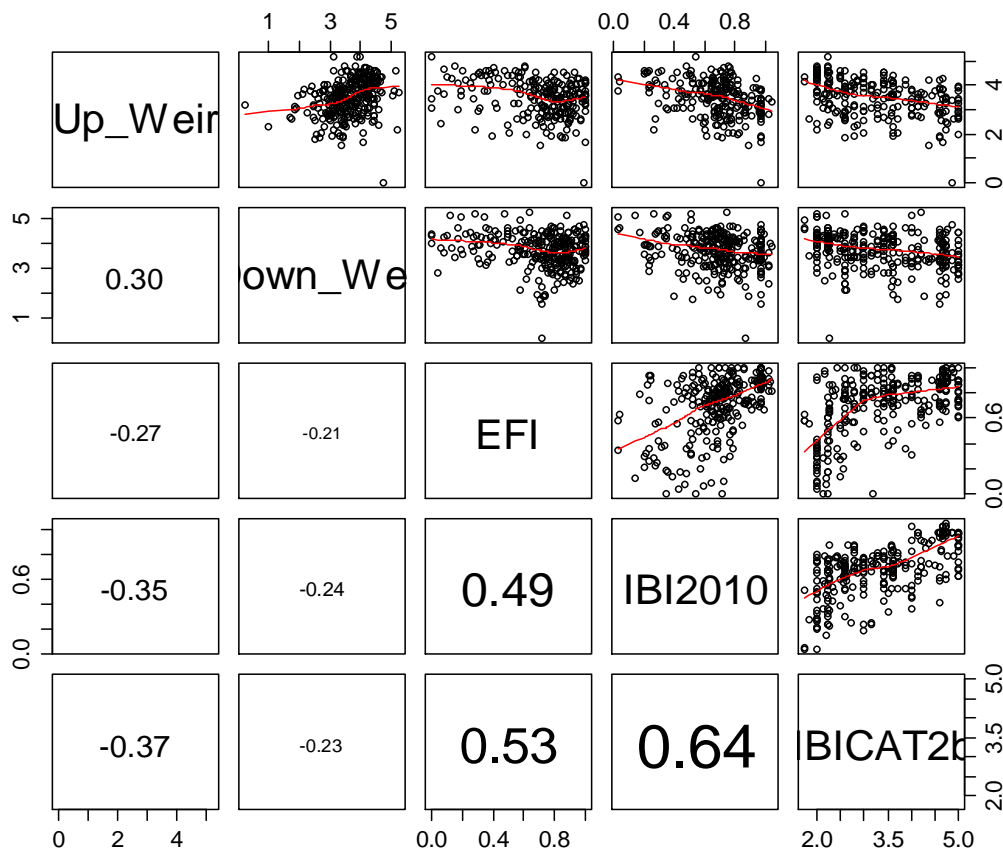


Figura 45. Relación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y los tres índices de peces.

Tabla 31. Matriz de correlación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y los tres índices de peces.

	Up_Weir	Down_Weir	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Up_Weir	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Down_Weir	0.255	1.000	0.001	0.003	0.000
EFI	-0.273	-0.220	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.351	-0.198	0.506	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.368	-0.257	0.536	0.608	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

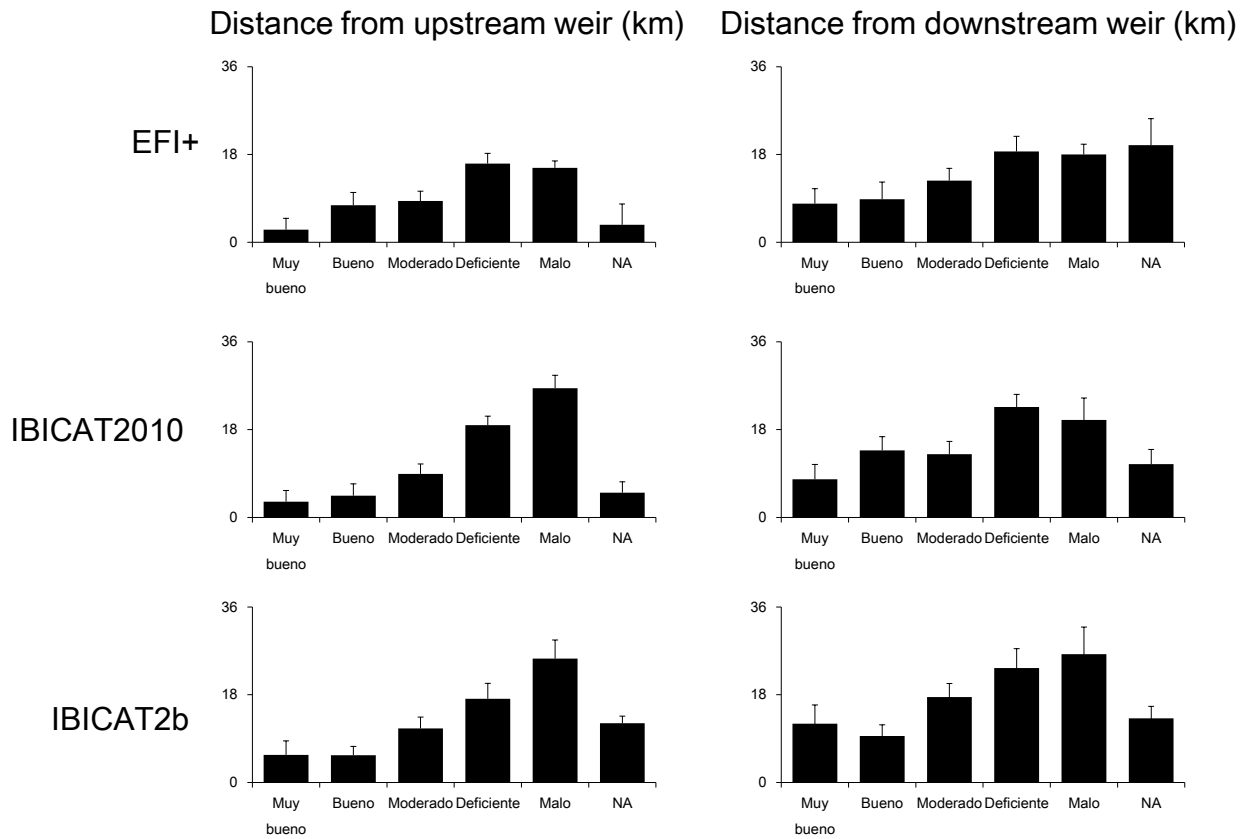


Figura 46. Distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo de los puntos según el estado ecológico asignado por los tres índices

	IBICAT2010	IBICAT2b	EFI
Muy bueno	21	22	6
Bueno	5	7	23
Moderado	11	13	13
Deficiente	7	4	3
Malo	30	4	1
NA	6	30	34

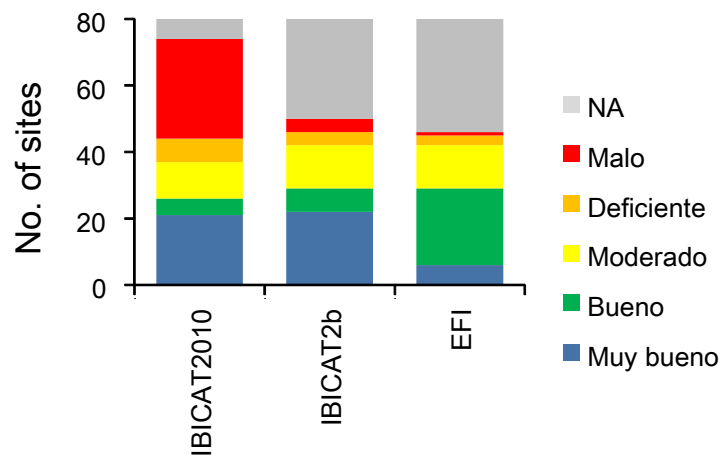


Figura 47. Número de puntos sin presas aguas arriba según su estado ecológico para los tres índices

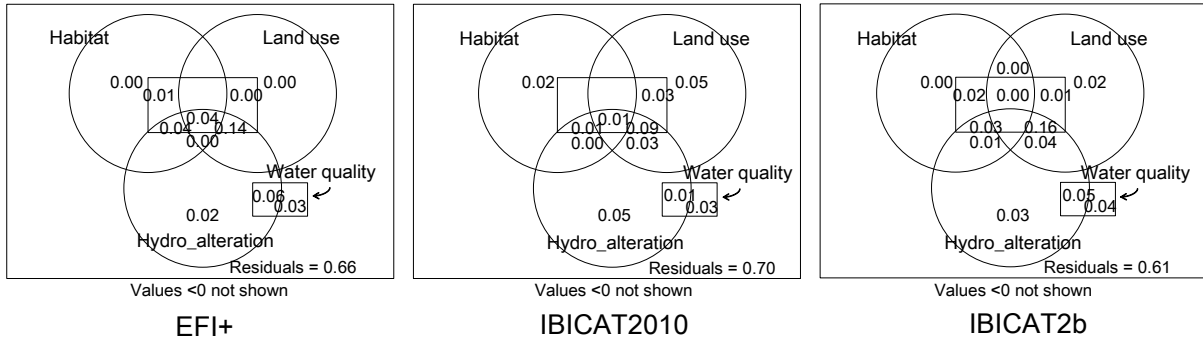


Figura 48. Partición de la variación (*Variation partitioning*) de los índices en cuatro conjuntos: calidad del hábitat, uso del suelo, alteración hidrológica (incluyendo conectividad) y calidad del agua

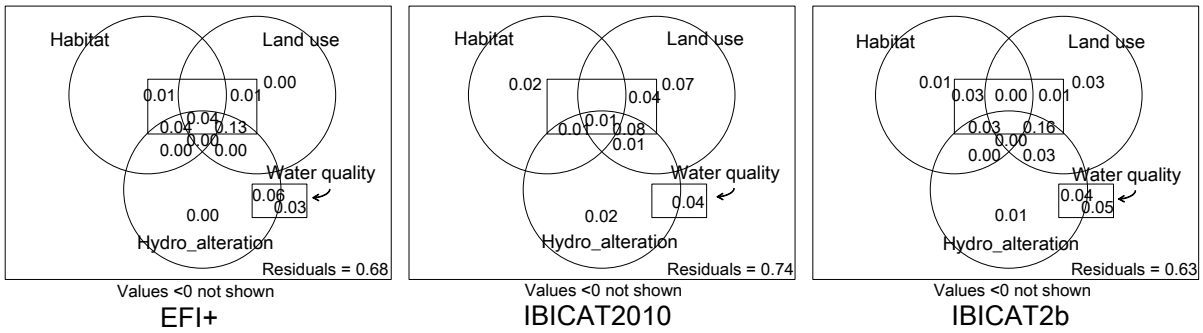


Figura 49. Partición de la variación (*Variation partitioning*) de los índices en cuatro conjuntos: calidad del hábitat, uso del suelo, alteración hidrológica (sin incluir conectividad) y calidad del agua

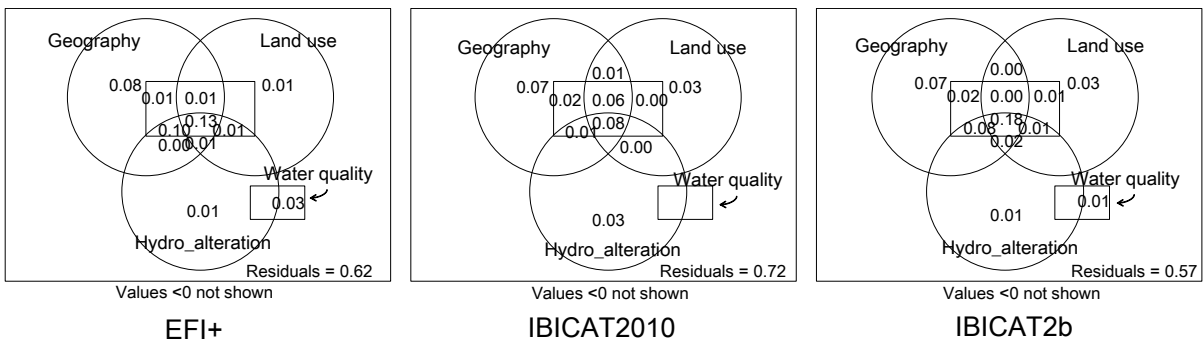


Figura 50. Partición de la variación (*Variation partitioning*) de los índices en cuatro conjuntos: variación espacial, uso del suelo, alteración hidrológica (sin incluir conectividad) y calidad del agua

Tabla 32. Modelos de regresión múltiple entre los tres índices de peces y las cuatro presiones ambientales (uso del suelo, calidad del hábitat, alteración hidrológica y calidad del agua).

Dependent	Independent variables	Coef. beta	SE	Coef.	SE	t_{238}	P
EFI+	Intercept			0.697	0.013	53.36	0.000
	Land_PC1	0.019	0.070	0.016	0.058	0.27	0.786
	H_al_PC1	-0.235	0.078	-0.196	0.065	-3.00	0.003
	Ha_PC1	0.008	0.055	0.005	0.033	0.14	0.886
	WQ_PC1	-0.379	0.092	-0.238	0.058	-4.13	0.000
IBICAT2010	Intercept			0.668	0.012	53.429	0.000
	Land_PC1	-0.295	0.075	-0.218	0.055	-3.954	0.000
	H_al_PC1	-0.069	0.084	-0.051	0.063	-0.819	0.414
	Ha_PC1	0.085	0.058	0.047	0.032	1.460	0.146
	WQ_PC1	-0.153	0.099	-0.086	0.055	-1.557	0.121
IBICAT2b	Intercept			3.381	0.054	63.191	0.000
	Land_PC1	-0.024	0.071	-0.079	0.237	-0.336	0.737
	H_al_PC1	-0.334	0.080	-1.127	0.270	-4.180	0.000
	Ha_PC1	0.006	0.055	0.016	0.136	0.117	0.907
	WQ_PC1	-0.243	0.093	-0.615	0.236	-2.608	0.010

EFI+: Adjusted R^2 : 0.305; IBICAT₂₀₁₀: Adjusted R^2 : 0.210; IBICAT2b: Adjusted R^2 : 0.294)

7. RELACION DE LAS ESPECIES INVASORAS CON LAS PRESIONES AMBIENTALES

La riqueza observada de especies nativas ha sido mínima en el cauce principal (Fig. 51) que es seguramente lo opuesto de lo que se podría esperar en condiciones naturales. En el cauce principal es donde se observa la mayor proporción de especies introducidas (Fig. 52) y su mayor abundancia relativa (53). Estas dos métricas de especies introducidas son mínimas en los tributarios de la margen derecha y en el Cinca. ¿Se explica esta abundancia de peces invasores por las presiones que acabamos de analizar?

Los análisis de las páginas siguientes (Fig. 55-67, Tabla 34-46) son los mismos que en la sección anterior pero aplicados a estas tres métricas de las Fig. 51-53. Las conclusiones son similares ya que de hecho el IBICAT2b usa específicamente estas tres métricas, aunque solo está muy correlacionado con la importancia de especies invasoras (Fig. 54, Tabla 33). Curiosamente ninguno de los tres índices está correlacionado con la riqueza de especies nativas (Fig. 54), seguramente por el bajo número de especies nativas en general y porque algunas ya han desaparecido de toda o la mayor parte de la cuenca. El EFI+ no considera si las especies son nativas o introducidas y por ello no está correlacionado con estas métricas (Fig. 54). El resumen de esta sección es que el % de especies introducidas y el % de individuos introducidos observados en los muestreos de peces aumentan aguas abajo y ambos están correlacionados significativamente con todas las presiones (cambios en el uso del suelo, alteración hidrológica y calidad del agua) y con la presión global pero no con la calidad del hábitat ni con el índice QBR.

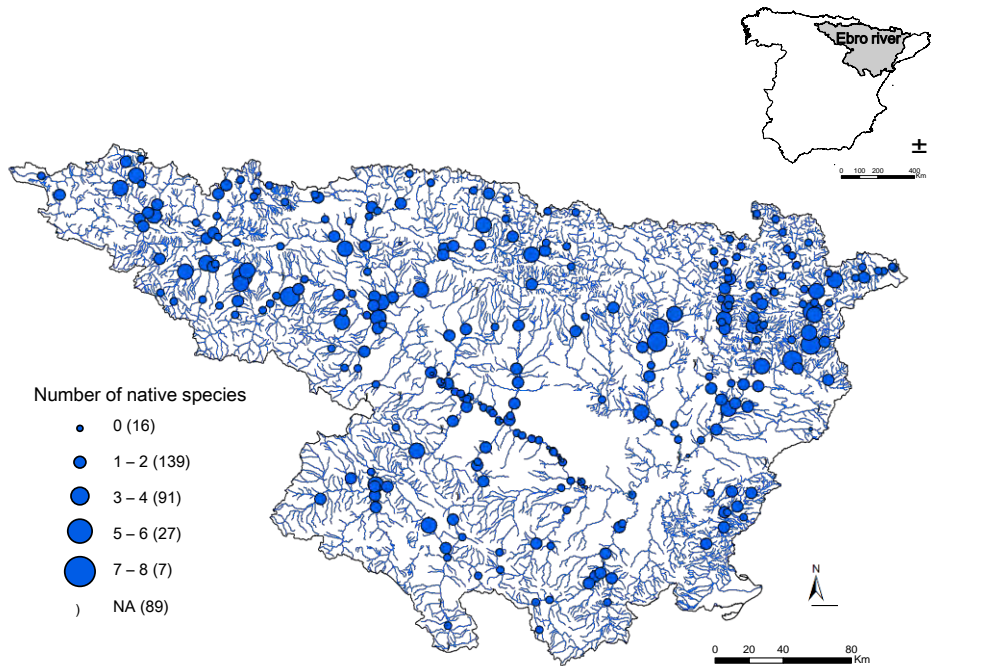


Figura 51. Número de especies nativas de peces observadas en los muestreos del Ebro

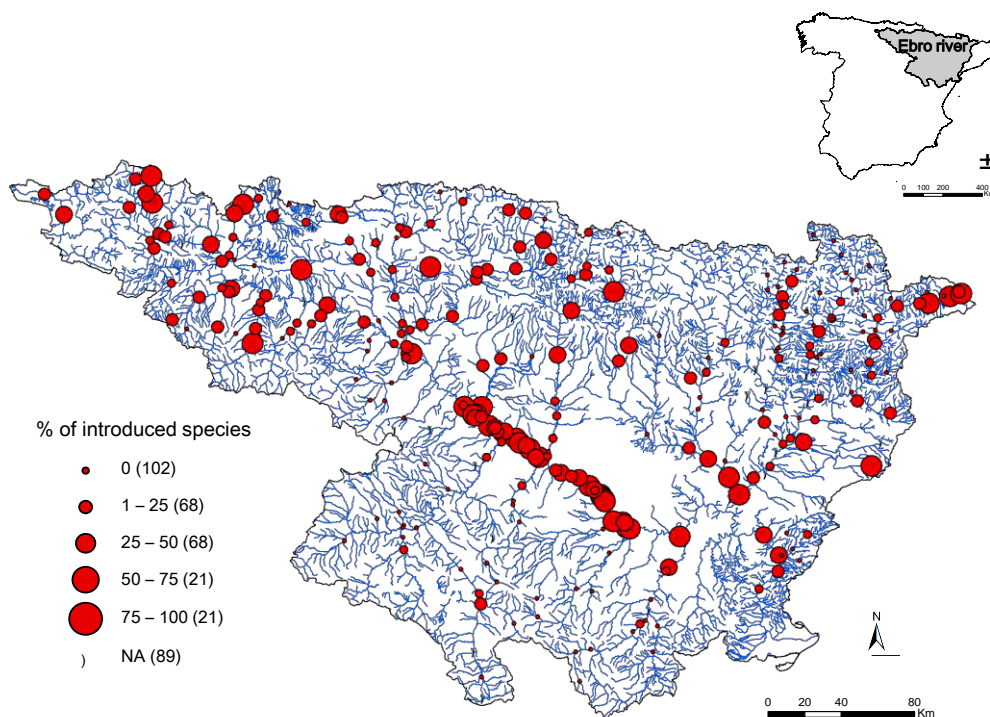


Figura 52. Porcentaje de especies introducidas de peces observadas en los muestreos del Ebro

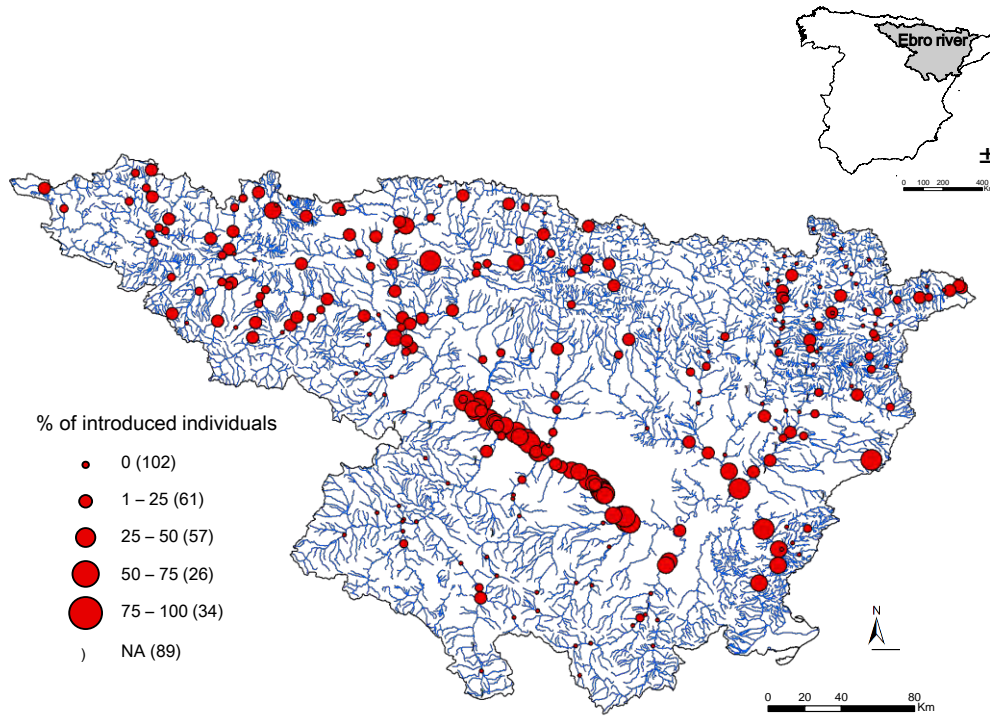


Figura 53. Porcentaje de individuos de peces introducidos observados en los muestreos del Ebro

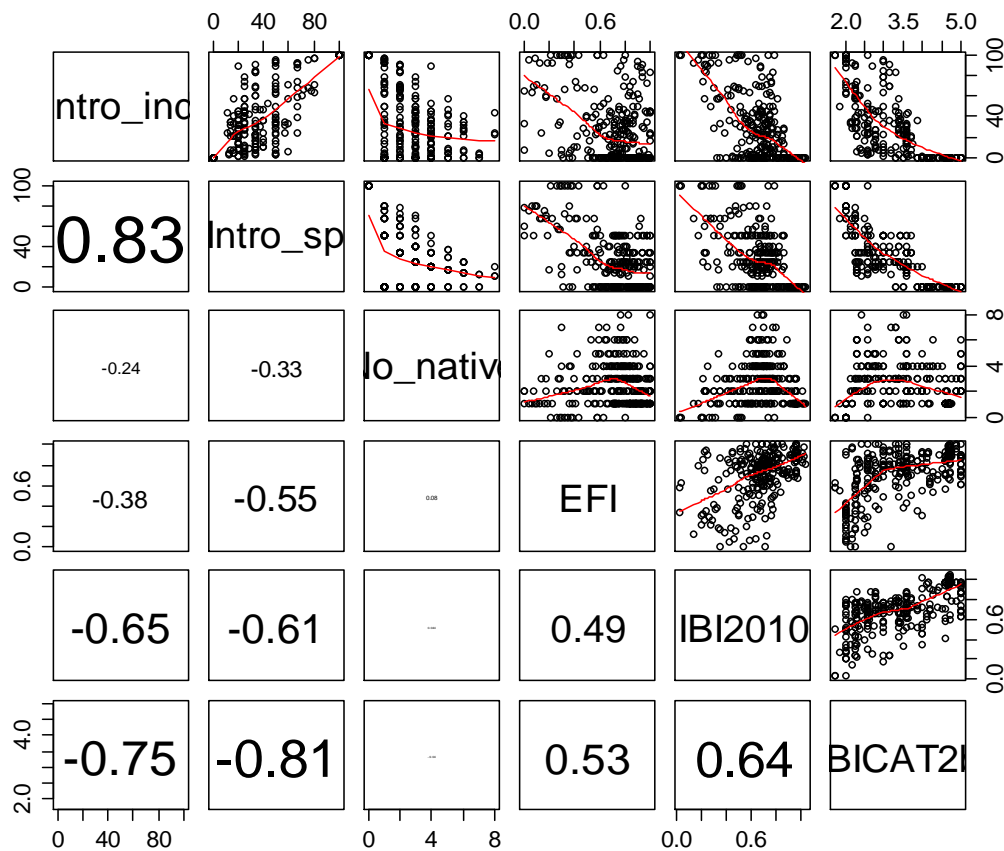


Figura 54. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los tres índices de peces

Tabla 33. Matriz de correlación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los tres índices de peces

	Intro_ind	Intro_sp	No_native	EFI	IBI2010	IBICAT2b
Intro_ind	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.818	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
No_native	-0.229	-0.315	1.000	0.206	0.417	0.375
EFI	-0.388	-0.558	0.077	1.000	0.000	0.000
IBI2010	-0.668	-0.640	0.050	0.489	1.000	0.000
IBICAT2b	-0.745	-0.810	-0.054	0.532	0.649	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

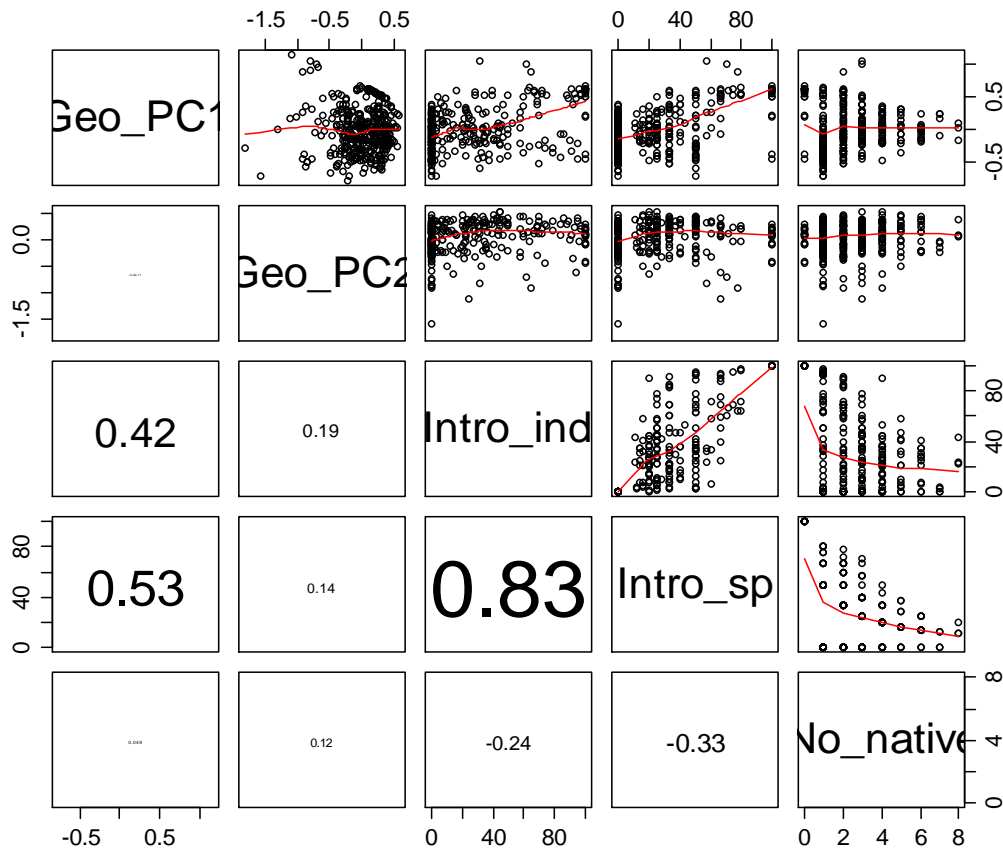


Figura 55. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores espaciales (ejes PCA)

Tabla 34. Matriz de correlación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores espaciales (ejes PCA)

	Geo_PC1	Geo_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
Geo_PC1	1.000	0.846	0.000	0.000	0.410
Geo_PC2	0.012	1.000	0.001	0.021	0.048
Intro_ind	0.422	0.191	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.531	0.137	0.830	1.000	0.000
No_native	0.049	0.119	-0.244	-0.327	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

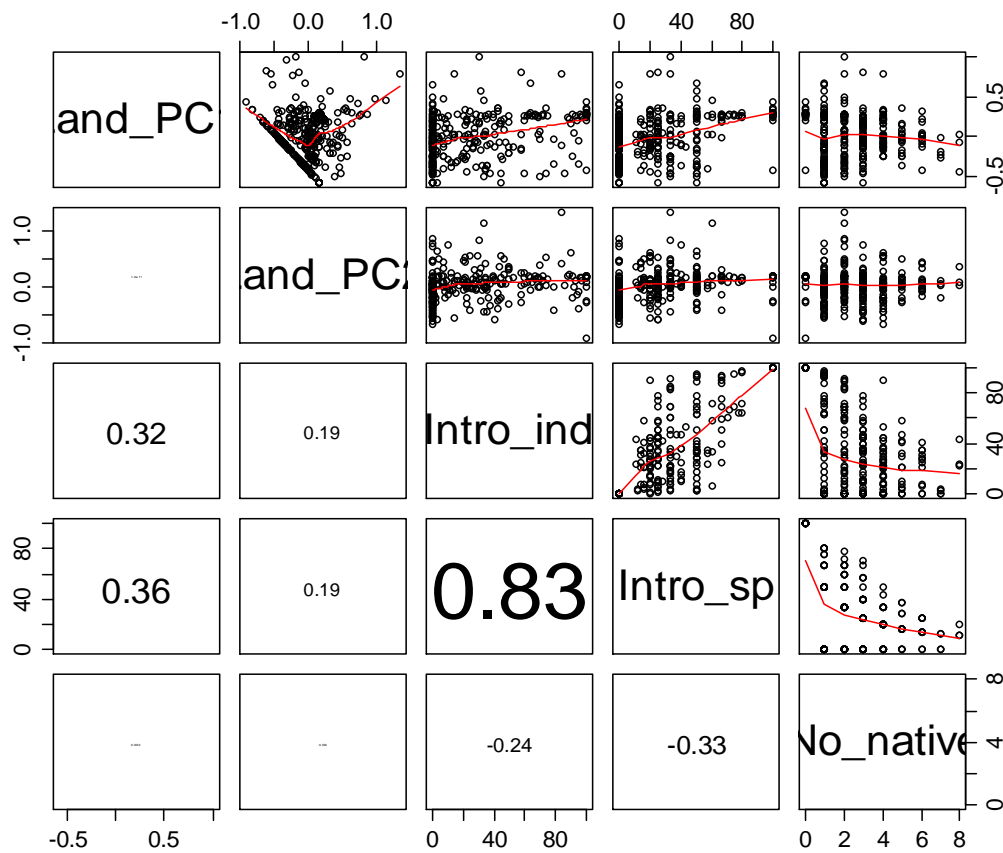


Figura 56. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores de uso del suelo (ejes PCA)

Tabla 35. Matriz de correlación entre descriptores de uso del suelo (ejes PCA) y los tres índices de peces

	Land_PC1	Land_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
Land_PC1	1.000	0.196	0.000	0.000	0.983
Land_PC2	0.078	1.000	0.002	0.001	0.571
Intro_ind	0.321	0.186	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.363	0.195	0.830	1.000	0.000
No_native	0.001	0.034	-0.244	-0.327	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

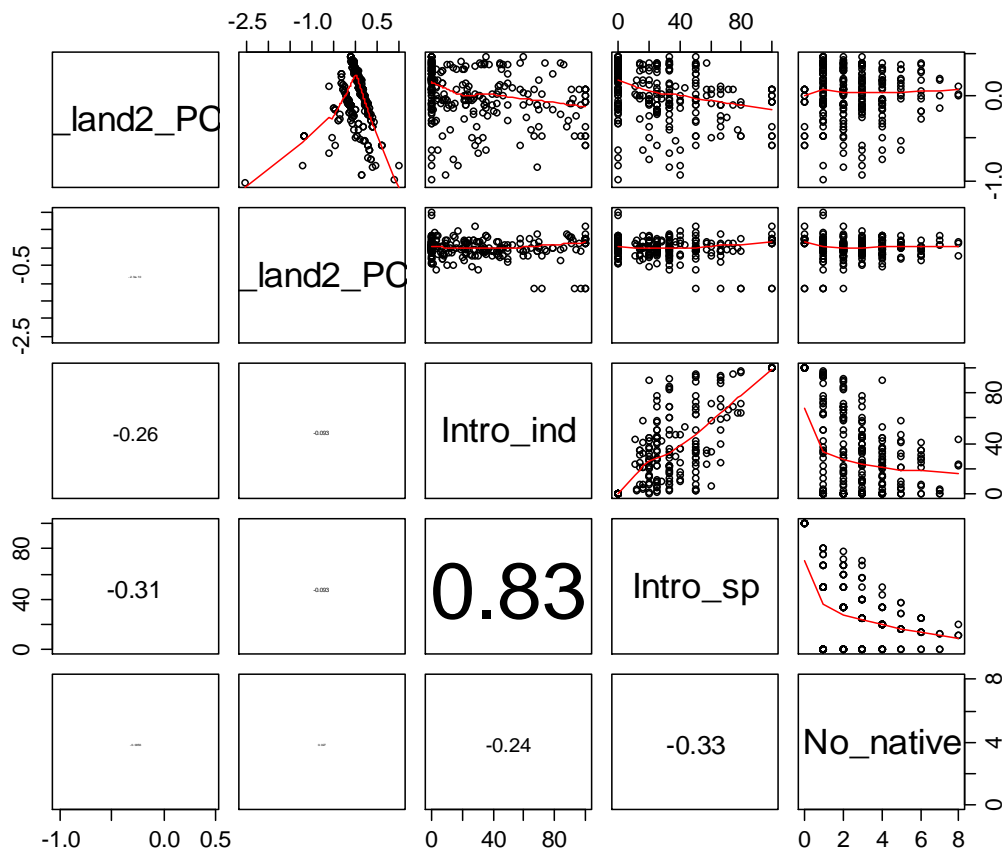


Figura 57. Relación entre especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas) y los descriptores de uso del suelo (ejes PCA de datos IMPRESS)

Tabla 36. Matriz de correlación entre descriptores de uso del suelo (ejes PCA de datos IMPRESS) y los tres índices de peces.

	R_land2_PC1	R_land2_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
R_land2_PC1	1.000	0.126	0.000	0.000	0.929
R_land2_PC2	-0.095	1.000	0.136	0.135	0.669
Intro_ind	-0.261	-0.093	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	-0.311	-0.093	0.841	1.000	0.000
No_native	-0.006	0.027	-0.264	-0.335	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

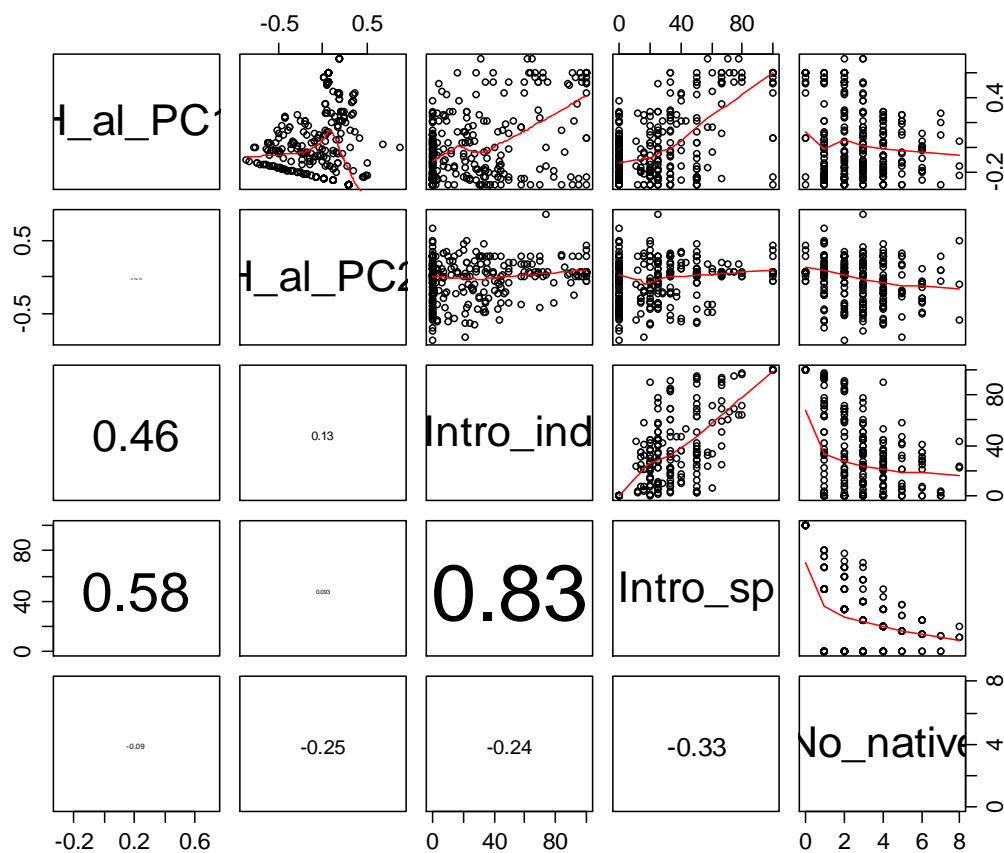


Figura 58. Relación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)

Tabla 37. Matriz de correlación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)

	H_al_PC1	H_al_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
H_al_PC1	1.000	0.656	0.000	0.000	0.133
H_al_PC2	0.027	1.000	0.034	0.122	0.000
Intro_ind	0.458	0.127	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.580	0.093	0.830	1.000	0.000
No_native	-0.090	-0.255	-0.244	-0.327	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

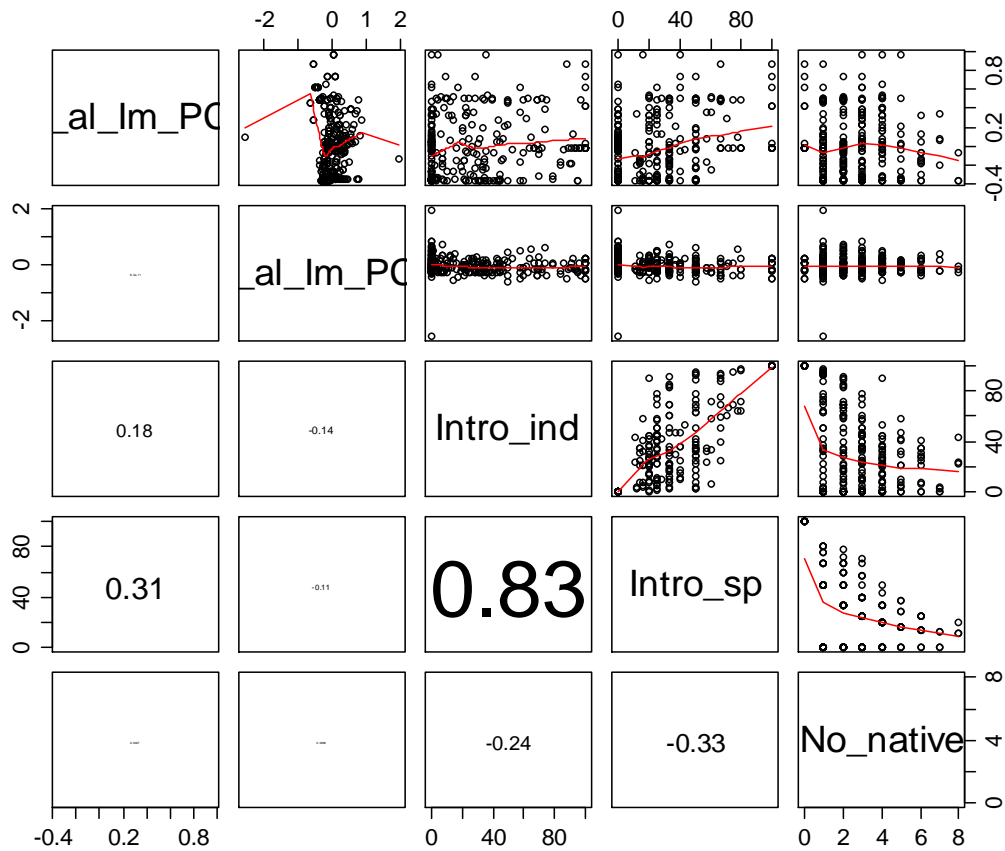


Figura 59. Relación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 38. Matriz de correlación entre indicadores de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	H_al_Im_PC1	H_al_Im_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
H_al_Im_PC1	1.000	0.857	0.002	0.000	0.938
H_al_Im_PC2	0.011	1.000	0.025	0.062	0.870
Intro_ind	0.182	-0.136	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.312	-0.113	0.828	1.000	0.000
No_native	0.005	0.010	-0.252	-0.338	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

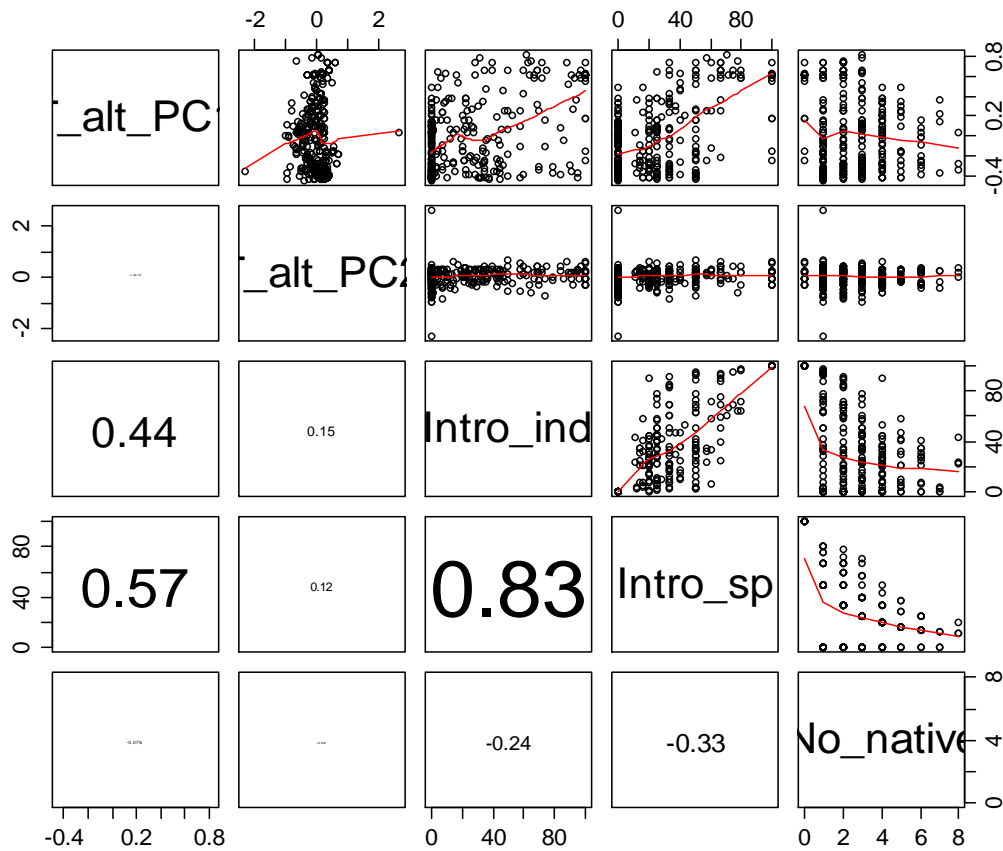


Figura 60. Relación entre indicadores globales de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS y otros datos compilados) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 39. Matriz de correlación entre indicadores globales de alteración hidrológica (ejes PCA basados en datos IMPRESS y otros datos compilados) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	T_alt_PC1	T_alt_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
T_alt_PC1	1.000	0.951	0.000	0.000	0.207
T_alt_PC2	-0.004	1.000	0.015	0.041	0.754
Intro_ind	0.441	0.147	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.570	0.123	0.828	1.000	0.000
No_native	-0.076	-0.019	-0.252	-0.338	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

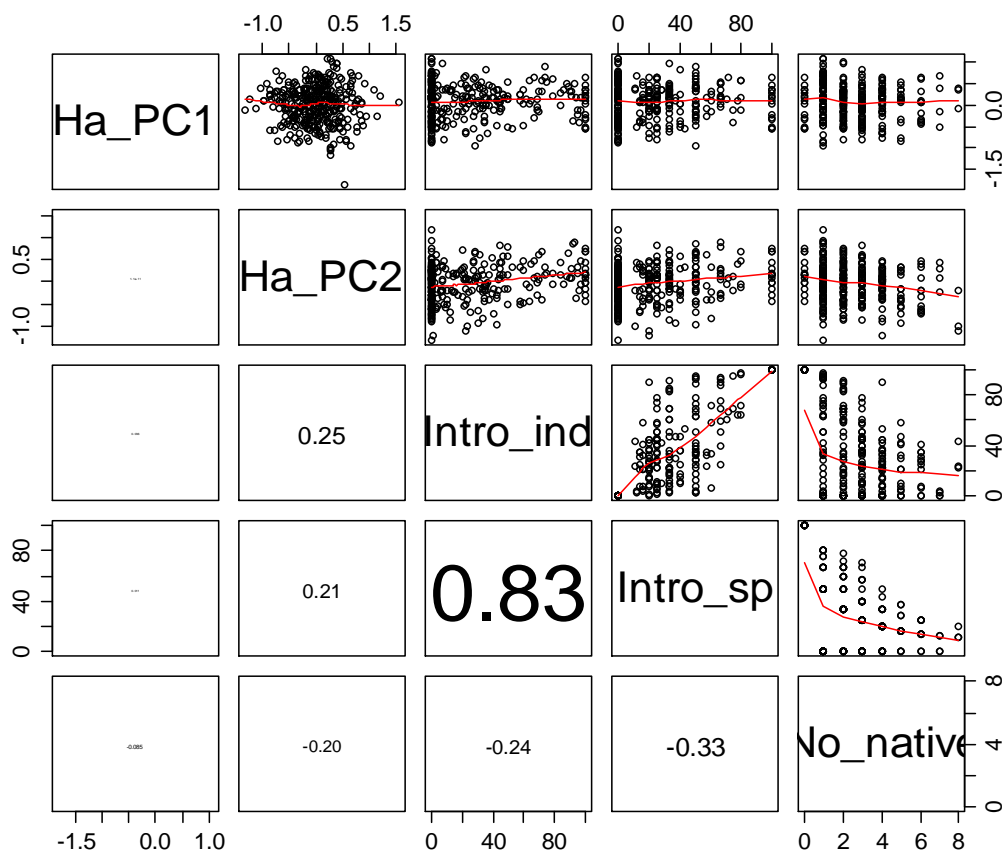


Figura 61. Relación entre calidad de hábitat (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 40. Matriz de correlación entre calidad de hábitat (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)

	Ha_PC1	Ha_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
Ha_PC1	1.000	0.347	0.554	0.858	0.160
Ha_PC2	0.057	1.000	0.000	0.001	0.001
Intro_ind	0.036	0.253	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.011	0.208	0.829	1.000	0.000
No_native	-0.085	-0.204	-0.238	-0.319	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

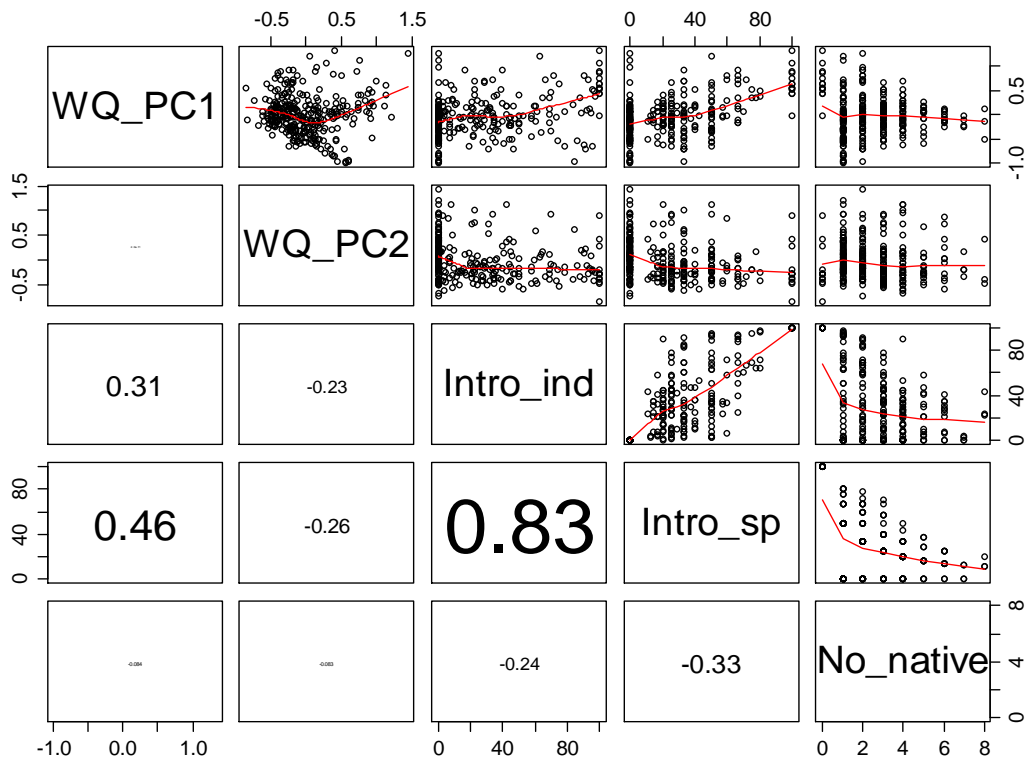


Figura 62. Relación entre calidad de agua (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 41. Matriz de correlación entre calidad de agua (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	WQ_PC1	WQ_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
WQ_PC1	1.000	0.364	0.000	0.000	0.183
WQ_PC2	-0.057	1.000	0.000	0.000	0.185
Intro_ind	0.314	-0.232	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.457	-0.263	0.814	1.000	0.000
No_native	-0.084	-0.083	-0.243	-0.325	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

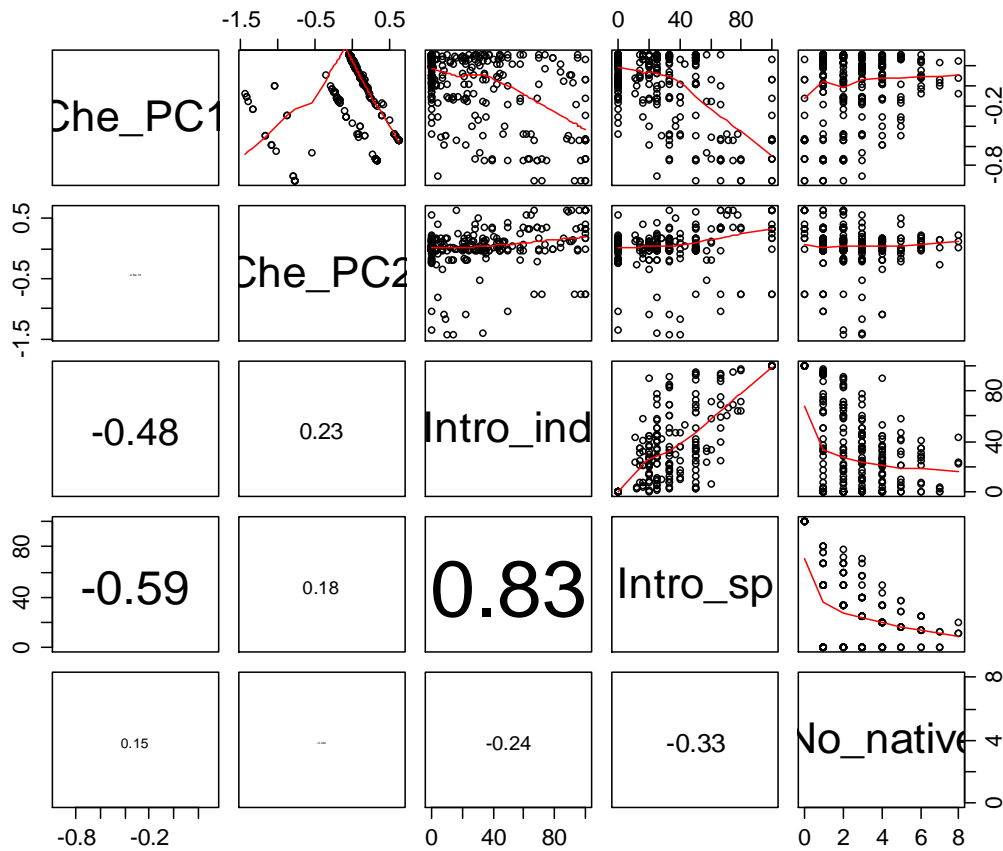


Figura 63. Relación entre contaminación química (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)

Tabla 42. Matriz de correlación entre contaminación química (ejes PCA basados en datos IMPRESS) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	Che_PC1	Che_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
Che_PC1	1.000	0.485	0.000	0.000	0.016
Che_PC2	-0.042	1.000	0.000	0.002	0.472
Intro_ind	-0.484	0.229	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	-0.586	0.184	0.828	1.000	0.000
No_native	0.146	-0.044	-0.252	-0.338	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

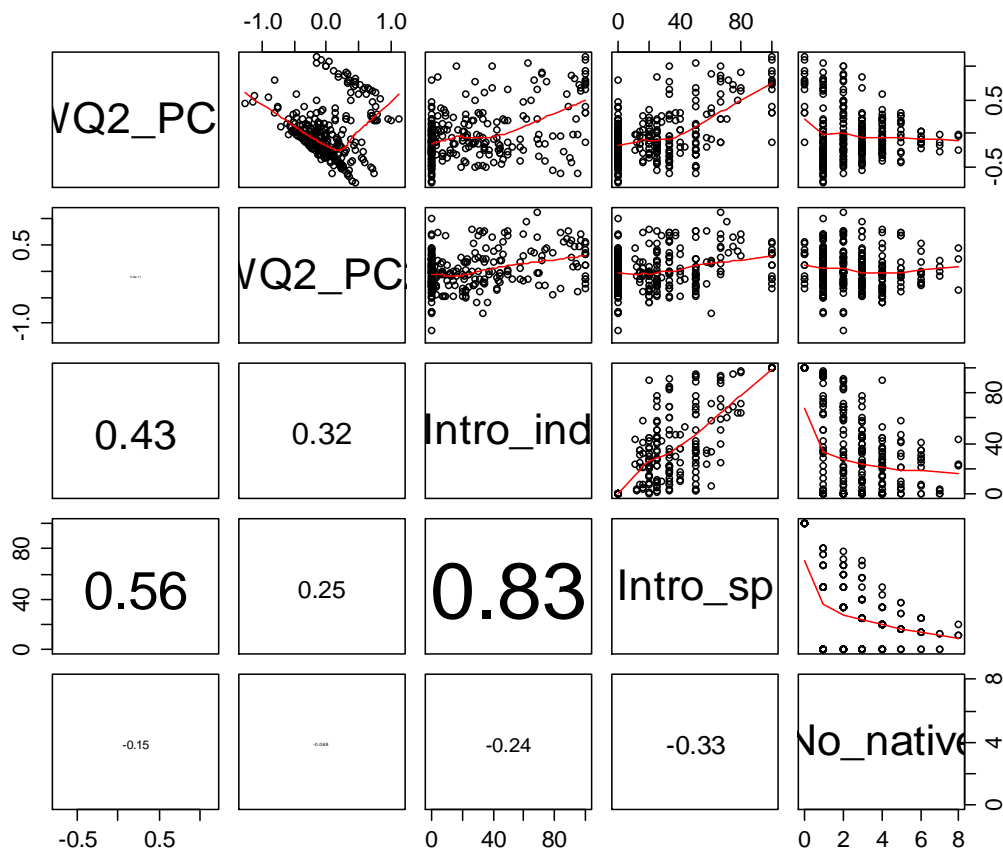


Figura 64. Relación entre calidad de agua (ejes PCA basados en datos IMPRESS y datos del muestreo de peces) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 43. Matriz de correlación entre calidad de agua (ejes PCA basados en datos IMPRESS y datos del muestreo de peces) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	WQ2_PC1	WQ2_PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
WQ2_PC1	1.000	0.737	0.000	0.000	0.017
WQ2_PC2	0.021	1.000	0.000	0.000	0.283
Intro_ind	0.426	0.315	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.559	0.248	0.814	1.000	0.000
No_native	-0.150	-0.068	-0.257	-0.342	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

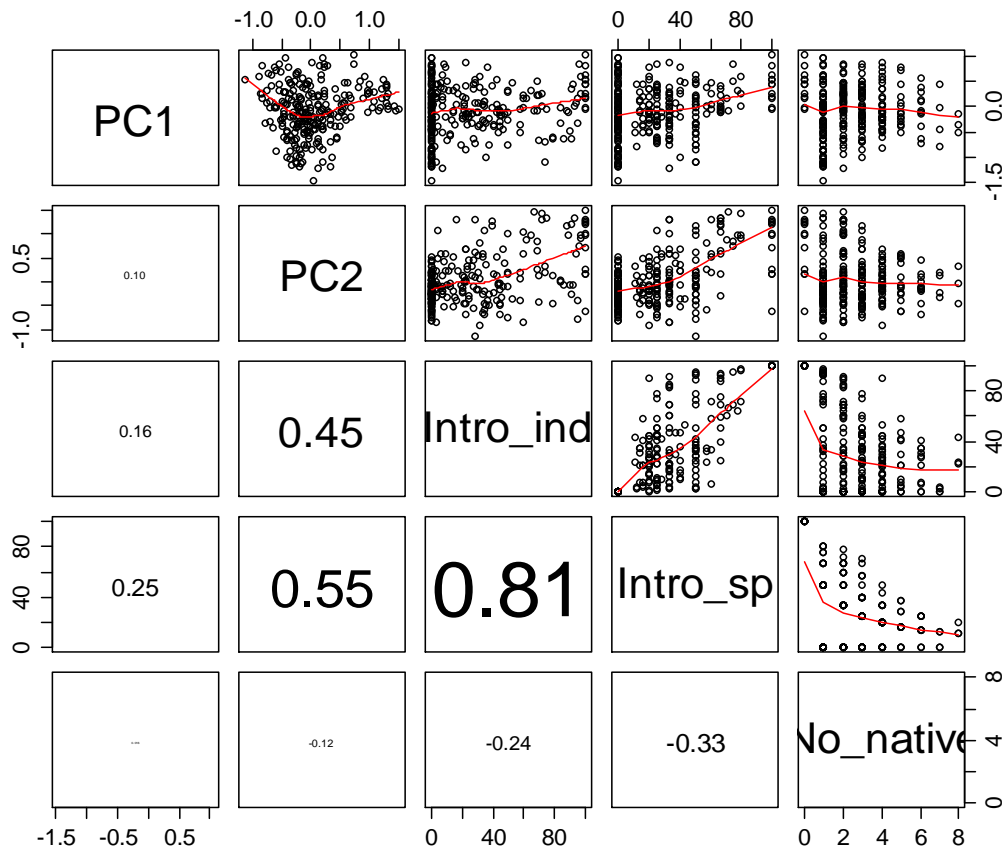


Figura 65. Relación entre indicadores globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 44. Matriz de correlación entre indicadores globales de perturbación antropogénica (ejes PCA) y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas)

	PC1	PC2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
PC1	1.000	0.099	0.010	0.000	0.801
PC2	0.105	1.000	0.000	0.000	0.051
Intro_ind	0.162	0.451	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.253	0.554	0.812	1.000	0.000
No_native	0.016	-0.124	-0.244	-0.328	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

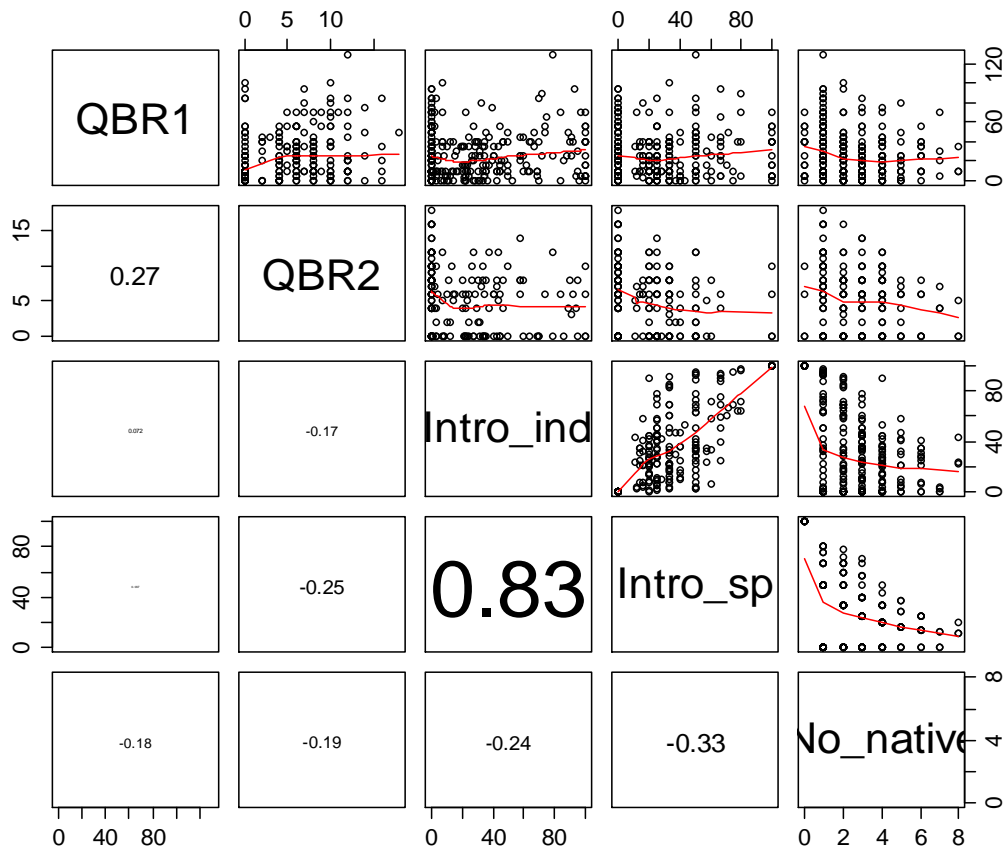


Figura 66. Relación entre los índices QBR y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 45. Matriz de correlación entre los índices QBR y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	QBR1	QBR2	Intro_ind	Intro_sp	No_native
QBR1	1.000	0.010	0.834	0.124	0.026
QBR2	0.189	1.000	0.021	0.000	0.010
Intro_ind	-0.015	-0.169	1.000	0.000	0.564
Intro_sp	-0.113	-0.255	0.757	1.000	0.125
No_native	-0.163	-0.189	-0.043	-0.113	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima

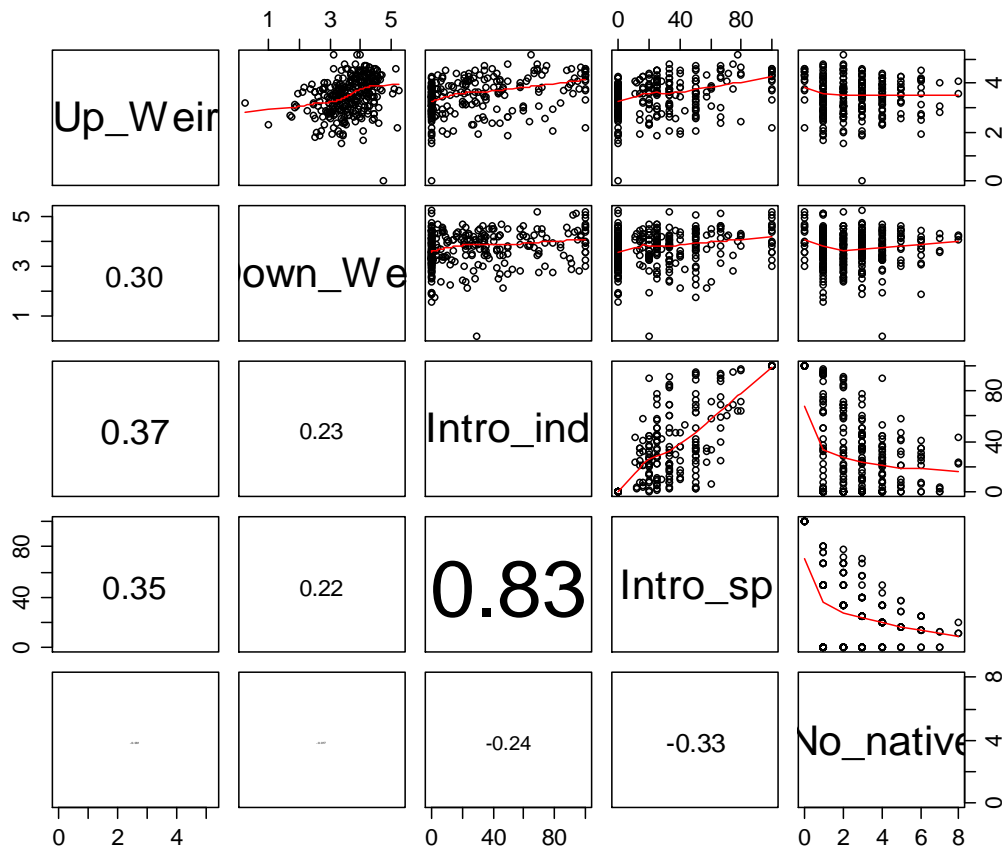


Figura 67. Relación entre la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

Tabla 46. Matriz de correlación de la distancia de la presa más cercana aguas arriba y abajo y y especies invasoras (% individuos introducidos, % especies introducidas y número de especies nativas).

	Up_Weir	Down_Weir	Intro_ind	Intro_sp	No_native
Up_Weir	1.000	0.000	0.000	0.000	0.640
Down_Weir	0.257	1.000	0.000	0.000	0.558
Intro_ind	0.365	0.230	1.000	0.000	0.000
Intro_sp	0.346	0.231	0.816	1.000	0.000
No_native	-0.031	-0.039	-0.305	-0.406	1.000

Se muestran los coeficientes de correlación de Pearson bajo la diagonal y los valores *P* encima



8. CONCLUSIONES

- 1) La tipología del IBICAT₂₀₁₀/IBIMED no parece coherente y adecuada para el conjunto del Ebro (ni probablemente para el resto de España) seguramente porque se desarrolló solo con datos de Cataluña y en general no se puede extrapolar con seguridad un modelo a una zona o rango ambiental mucho más amplios. La tipología del IBICAT₂₀₁₀/IBIMED parece muy distinta a la oficial del Ebro, la cual parece mucho más coherente.
- 2) Los tres índices calculados (IBICAT2b, IBICAT₂₀₁₀ y EFI+) están correlacionados, con coeficientes de correlación de Pearson que varían entre 0.49 y 0.64.
- 3) Sin embargo, si se consideran las frecuencias de estado ecológico, IBICAT₂₀₁₀ tiene mucha mayor frecuencia de tramos con estado ecológico “malo”, básicamente porque se asigna automáticamente a muchos tipos cuando el tramo estaba seco o no se capturaron peces. Con los dos otros índices, a muchos de estos tramos no se les asigna estado ecológico. En comparación a los otros dos índices, EFI+ asigna más casos a estado ecológico “Bueno” y menos a “Muy bueno”.
- 4) Los tres índices disminuyen significativamente aguas abajo y toman valores más altos en tramos de cabecera.
- 5) Los índices explican en torno de un 26-37% de la variación en perturbaciones antrópicas: IBICAT2b es el que explica más variación e IBICAT₂₀₁₀ el que menos.
- 6) La mayoría de la variación no es puramente de una única presión (por ejemplo calidad del agua) sino “conjunta” (varias presiones que covarían). Para los tres índices (en menor medida para IBICAT₂₀₁₀) la mayor parte de la variación conjunta corresponde a cambios en los usos del suelo asociados a alteración hidrológica y disminución de la calidad del agua (un 16% en el caso de IBICAT2b).
- 7) La variación de IBICAT2b y EFI+ está más relacionada con la alteración hidrológica y la calidad del agua; la de IBICAT₂₀₁₀ está menos relacionada con la alteración hidrológica y más con los cambios del uso del suelo puros, no asociados a otras presiones.
- 8) Los valores de los tres índices disminuyen significativamente en tramos con mayores porcentajes de usos agrícolas o urbanos aguas arriba y aumentan con uso forestal. IBICAT₂₀₁₀ responde mejor a usos agrícolas e IBICAT2b a usos urbanos.

- 9) Los valores de los tres índices disminuyen significativamente con la alteración hidrológica (mayor número y área de embalses aguas arriba, extracción de agua, etc.), especialmente en el caso del IBICAT2b.
- 10) Los tres índices están poco relacionados con la calidad del hábitat (medida durante los muestreos de peces); IBICAT₂₀₁₀ está un poco más relacionado con las alteraciones hidromorfológicas y EFI+ e IBICAT2b más con la calidad del bosque de ribera.
- 11) IBICAT₂₀₁₀/IBIMED responde peor a las perturbaciones antrópicas que IBICAT2b y EFI+, tiene varias cuestiones metodológicas criticables (por ejemplo, punto 3 de estas conclusiones) y una tipología desarrollada sólo para Cataluña que no parece funcionar bien en el Ebro; por todo ello, no se recomienda su uso en el Ebro. Aunque IBIMED se intercalibró con EFI+ no se comparó las clases del estado ecológico directamente por lo que la relación de estos dos índices es peor que la que muestra el ejercicio de intercalibración. Los otros dos índices funcionan mejor y pueden considerarse validados en el Ebro y complementarios por sus métricas muy distintas y su respuesta ligeramente distinta a las presiones.
- 12) La riqueza observada de especies nativas ha sido mínima en el cauce principal que es seguramente lo opuesto de lo que se podría esperar en condiciones naturales. En el cauce principal es donde se observa el mayor porcentaje de especies introducidas y su mayor abundancia relativa.
- 13) Los porcentajes de especies e individuos introducidos aumentan aguas abajo y están correlacionados significativamente con la mayoría de presiones (cambios en el uso del suelo, alteración hidrológica y calidad del agua) y con la presión ambiental global pero no con la calidad del hábitat ni con el índice QBR. Estos porcentajes también están correlacionados con los tres índices, en especial IBICAT2b ya que son dos de sus métricas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio E., Carmona-Catot G., Moyle P.B., García-Berthou E. 2011. Development and evaluation of a fish-based index to assess biological integrity of Mediterranean streams. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21: 324–337.
- Benejam L., Angermeier P.L., Munné A., García-Berthou E. 2010. Assessing effects of water abstraction on fish assemblages in Mediterranean streams. *Freshwater Biology* 55: 628–642.
- Benejam L., Alcaraz C., Benito J., Caiola N., Casals F., Maceda-Veiga A., de Sostoa A. & García-Berthou, E. 2012. Fish catchability and comparison of four electrofishing crews in Mediterranean streams. *Fisheries Research* 123-124: 9-15.
- Boix D., García-Berthou E., Gascón S., Benejam L., Tornés E., Sala J., Benito J., Munné A., Solà C., Sabater S. 2010. Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology* 383: 135–146.
- Borcard D., Legendre P., Drapeau P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology* 73: 1045–1055.
- CHE (Confederación Hidrográfica del Ebro) (ed.) 2012. *Optimización de la metodología IMPRESS y actualización de resultados. IMPRESS 2012*. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza. 58 páginas. <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=30319>
- EFI+ Consortium. 2009. Manual for the application of the new European Fish Index: EFI+. A fish-based method to assess the ecological status of European running waters in support of the Water Framework Directive. <http://efi-plus.boku.ac.at/software/>
- Hermoso V., Clavero M., Blanco-Garrido F., Prenda J. 2010. Assessing the ecological status in species-poor systems: a fish-based index for Mediterranean rivers (Guadiana River, SW Spain). *Ecological Indicators* 10: 1152-1161
- Logez M., Pont D. 2011. Development of metrics based on fish body size and species traits to assess European coldwater streams. *Ecological Indicators* 11: 1204-1215

- Maceda-Veiga A., de Sostoa A. 2011. Observational evidence of the sensitivity of some fish species to environmental stressors in Mediterranean rivers. *Ecological Indicators* 11: 311-317.
- Monti D., Legendre P. 2009. Shifts between biotic and physical driving forces of species organization under natural disturbance regimes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 66: 1282–1293.
- Murphy C.A., Casals F., Solà C., Caiola N., de Sostoa A., García-Berthou E. 2013. Efficacy of population size structure as a bioassessment tool in freshwaters. *Ecological Indicators* 34: 571–579.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Henry M., Stevens H., Wagner H. 2010. Vegan: Community Ecology Package. R package version 1.17-4. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- R Core Team, 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Segurado P.; Caiola N. ; Pont D.; Oliveira M.J.; Delaigue O.; Ferreira M.T. 2014. Comparability of fish-based ecological quality assessments for geographically distinct Iberian regions. *Science of the Total Environment* 476 :785-794
- Sokal R.R., Rohlf F.J. 1995, *Biometry*. 3a ed. W.H. Freeman and Company, 887 p.
- Sostoa A. de, Caiola N., Casals F., García-Berthou E., Alcaraz C., Benejam L., Maceda A., Solà C & Munné A. 2010. Ajust de l'Índex d'Integritat Biòtica (IBICAT) basat en l'ús dels peixos com a indicadors de la qualitat ambiental als rius de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya. 187 pàg. http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/directiva_marc/IBICAT2_Informe2010.pdf
- Sostoa A. de, Maceda A., Figuerola B., Canyelles A., Cardoso C., Monroy M. & Caiola N. 2011. Desarrollo y aplicación de un índice de integridad biótica para la cuenca del Ebro basado en el uso de los peces como indicadores biológicos. Confederación Hidrográfica del Ebro. 137 p.