

MÉTODO M. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE INTEGRIDAD DE LA COMUNIDAD ICTIOLÓGICA (ICI)

ÍNDICE

1. Objetivo	M1
2. Procedimiento metodológico	M1
2.1. Elementos de análisis	M1
2.2. Integración de los indicadores	M51
3. Red de puntos de muestreo	M5
4. Referencias de interés	M7
Apéndice A	M9
Apéndice B	M23

1 Objetivo

El presente método tiene por objeto describir la metodología seguida para determinar la integridad de la comunidad ictiológica de las diferentes unidades de valoración incluidas en los espacios acuáticos continentales de la red Natura 2000 de Cantabria. La integridad de la comunidad ictiológica es uno de los elementos clave de cara a la evaluación del estado de conservación del entorno funcional de los hábitats.

2 Procedimiento metodológico

2.1 Elementos de análisis

Para valorar la integridad de las comunidades de peces de los espacios acuáticos continentales de la red Natura 2000 en Cantabria se utiliza el Índice de Integridad de la Comunidad Ictiológica (ICI en adelante) desarrollado a partir del Índice de Integridad Biótica (IBI, ver apéndice B). El índice está compuesto por 11 métricas en los ríos de la vertiente norte y 9 en los ríos de la vertiente sur. En ambos casos, las métricas seleccionadas valoran diferentes aspectos de la comunidad de peces, pudiéndose agrupar en 3 grandes bloques (Tabla M.1 y M.2):

- Métricas de riqueza y composición de especies
- Métricas de estructura trófica
- Métricas de abundancia y condición de los peces

Cada métrica recibe una puntuación de 1, 3 ó 5 en función de los valores que toma en cada unidad de valoración respecto al valor esperado en condiciones de referencia (ausencia de perturbaciones antrópicas; Tabla M.1 y M.2). La puntuación 1 se asigna cuando el valor observado se desvía en gran medida del valor esperado y se asigna la puntuación de 5 cuando ambos valores se encuentran muy próximos.

Dentro del índice utilizado en los ríos de la vertiente Norte, los valores esperados en condiciones naturales para las métricas 1, 2, 5, 6, 7, 9 y 10 (Tabla M.1) varían con relación a la tipología fluvial en la que se encuentre la unidad de valoración evaluada. En el caso de los ríos de la vertiente sur (Ebro y Camesa) ocurre lo mismo en las métricas 1, 2, 5, 6, 7 y 8 (Tabla M.2). Hay que señalar que en las cuencas de la vertiente sur de Cantabria se ha realizado una modificación de la segregación de subcuencas por tipologías tal como se establecía en el método A. Esto fue debido, principalmente, a la escasa disponibilidad de datos. De esta manera las tipologías 10 y 11, las cuales engloban principalmente al río Camesa y sus afluentes y a los afluentes del río Ebro, se han unido en una sola tipología denominada 10'. Por otro lado se ha considerado oportuno segregar la tipología 9 en dos bloques, 9 y 9', dependiendo de la vertiente a la que pertenezcan los ríos, Norte (tipología 9) o Sur (tipología 9').

Debe señalarse que el ICI es un índice reciente por lo que aún se encuentra sujeto a ciertas mejoras. En este sentido, la calibración de los valores de referencia necesita un

ajuste más riguroso para todas las tipologías ecológicas de los espacios acuáticos continentales de la Red Natura 2000 en Cantabria (ver Apéndice A). Por otro lado, muchas de las métricas utilizadas en el índice son, asimismo, sensibles al diseño de muestreo que se utilice, por lo que resulta sumamente importante seguir siempre una metodología de muestreo estandarizada (ver Apéndice B). En este sentido, cabe señalar que la calibración del índice y el establecimiento de los valores de corte y umbrales establecidos para cada métrica se han llevado a cabo mediante los resultados de muestreos realizados en diferentes campañas por diferentes organismos (IH Cantabria, Confederación Hidrográfica del Norte y Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca y Biodiversidad). Debido a la variabilidad en los objetivos perseguidos en cada muestreo se utilizaron protocolos en el campo que varían levemente de unos a otros pero que sin embargo consideramos que puede estar influyendo en los resultados.

Tipología	3			4			5			6			8			9		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1
Métricas de riqueza y composición de especies																		
1. Número de especies nativas	>4	4	<4	>3	3	>3	>3	3-2	<2	>2	2	<2	>3	3-2	<2	>2	2	<2
2. Número de especies intolerantes	>2	2	<2	>2	2	<2	>2	2	<2	≥1	-	0	>2	2	<2	1	-	0
3. Número de especies exóticas	0	1	>1	0	1	>1	0	1	>1	0	1	>1	0	1	>1	0	1	>1
Métricas de estructura trófica																		
4. Biomasa de Omnívoros (%)	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65
5. Individuos Salmónidos (%; Carnívoros superiores)	>20	20-10	<10	>30	30-15	<15	>40	40-20	<20	>60	60-30	<30	>60	60-30	<30	>80	80-40	<40
Métricas de abundancia y condición de los peces																		
6. Número de Individuos*100/superficie	>30	30-15	<15	>15	15-10	<10	>20	20-10	<10	>10	10-5	<5	>15	15-7	<7	>10	40-5	<5
7. Biomasa total / superficie (gr/m ²)	>8	8-4	<4	>5	5-2.5	<2.5	>7	7-3.5	<3.5	>4	4-2	<2	>5	5-2.5	<2.5	>4	4-2	<2
8. Biomasa de la especie dominante (%)	<60	60-90	>90	<60	60-90	>90	<60	60-90	>90	<60	60-90	>90	<60	60-90	>90	<60	60-90	>90
9. Individuos de anguilas (%)	<30	30-70	>70	<20	20-35	>35	<20	20-40	>40	<15	15-25	>25	<15	15-25	>25	<10	10-15	>15
10. Número de individuos 0+ trucha*1000/ superficie	>3	3-2	<2	>30	30-15	<15	>10	10-5	<5	>60	60-30	<30	>50	50-25	<25	>80	80-40	<40
11. Número individuos exóticos	0	≤5	>5	0	≤5	>5	0	≤5	>5	0	≤5	>5	0	≤5	>5	0	≤5	>5

Tabla M.1. Métricas que forman parte del Índice de Integridad de la Comunidad Ictiológica y puntuaciones que obtiene cada métrica según el valor que toma en la tipología fluvial de la vertiente norte en el que se aplica el ICI.

Tipología	9S			10'			12		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1
Métricas de riqueza y composición de especies									
1. Número de especies nativas	>2	2	<2	>3	3-2	<2	>4	4-3	<3
2. Número de especies intolerantes	≥1	-	0	>2	1	0	>2	2	<2
3. Número de especies exóticas	0	1	>1	0	1	>1	0	1	>1
Métricas de estructura trófica									
4. Biomasa de Omnívoros (%)	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65	<30	30-65	>65
5. Individuos Salmónidos (%; Carnívoros superiores)	>80	80-40	<40	>20	20-10	<10	>10	10-5	<5
Métricas de abundancia y condición de los peces									
6. Número de Individuos*100/superficie	>10	10-5	<5	>20	20-10	<10	>30	30-15	<15
7. Individuos de barbo+gobio (%)	<10	10-15	>15	<15	15-25	>25	<30	30-70	>70
8. Número de individuos 0+ trucha*1000/ superficie	>60	60-30	<30	>30	30-15	<15	>10	10-5	<5
9. Número individuos exóticos	0	<5	>5	0	<5	>5	0	<5	>5

Tabla M.2. Métricas que forman parte del Índice de Integridad de la Comunidad Ictiológica y puntuaciones que obtiene cada métrica según el valor que toma en las tipologías fluviales de las cuencas de la vertiente sur en el que se aplica el ICI.

2.2 Integración de los indicadores

La integración de las 11 y 9 métricas en las unidades de valoración de la vertiente norte y sur, respectivamente, se realiza mediante la adición de puntuaciones obtenidas por cada métrica, contrastándose el valor obtenido con los valores expuestos en la Tabla M.3. Cada clase de integridad propuesta se relaciona con una condición determinada de la comunidad de peces, siendo las más saludables aquellas con una mayor puntuación.

Valor del ICI V. Norte	Valor del ICI V. Sur	Estado	Condición de la Comunidad Ictiológica	Clases de Integridad
55-50	45-40	Excelente	Comparable a la mejor situación sin perturbaciones humanas; todas las especies esperadas con densidades y estructuras de edad óptimas; estructura trófica balanceada.	Favorable
50-40	40-35	Buena	Riqueza ligeramente por debajo de lo esperado debido a la pérdida de las formas más intolerantes; especies con densidades y clases de edad por debajo del óptimo; estructura trófica algo alterada.	
40-30	35-25	Moderada	Menos especies; pérdida de formas intolerantes; estructura trófica sesgada hacia omnívoros y tolerantes; disminución de las clases de edad superiores de carnívoros.	Insuficiente
30-20	25-20	Deficiente	Pocos peces presentes; la mayoría introducidos o formas tolerantes; híbridos comunes; enfermedades, parásitos, daños en aletas y otras anomalías muy frecuente.	Desfavorable
20-10	20-10	Mala	Dominado por omnívoros, formas tolerantes, y generalistas de hábitat; muy pocos carnívoros superiores, peces híbridos y enfermos frecuentes.	
< 10	< 10	Muy mala	Muestreos sucesivos muestran que prácticamente no hay peces.	

Tabla M.3. Metodología para la valoración de la unidad de valoración con base a los valores del Índice de Integridad de la Comunidad Ictiológica.

3 Red de puntos de muestreo

Para realizar la valoración de la integridad de las comunidades de peces se partió de una red de 58 puntos de estudio en las cuencas de la vertiente norte y 18 en las de la vertiente sur (Figura M.1). Como se ha comentado, esta red de 76 puntos proviene de diversas campañas realizadas entre los años 2003 y 2007 por el IH Cantabria, la Confederación Hidrográfica del Cantábrico y la Dirección General de Biodiversidad del Gobierno de Cantabria. Finalmente, la valoración se realizó en 48 puntos que están incluidos dentro de los límites de la red natura 2000 en Cantabria (Figura M.2).

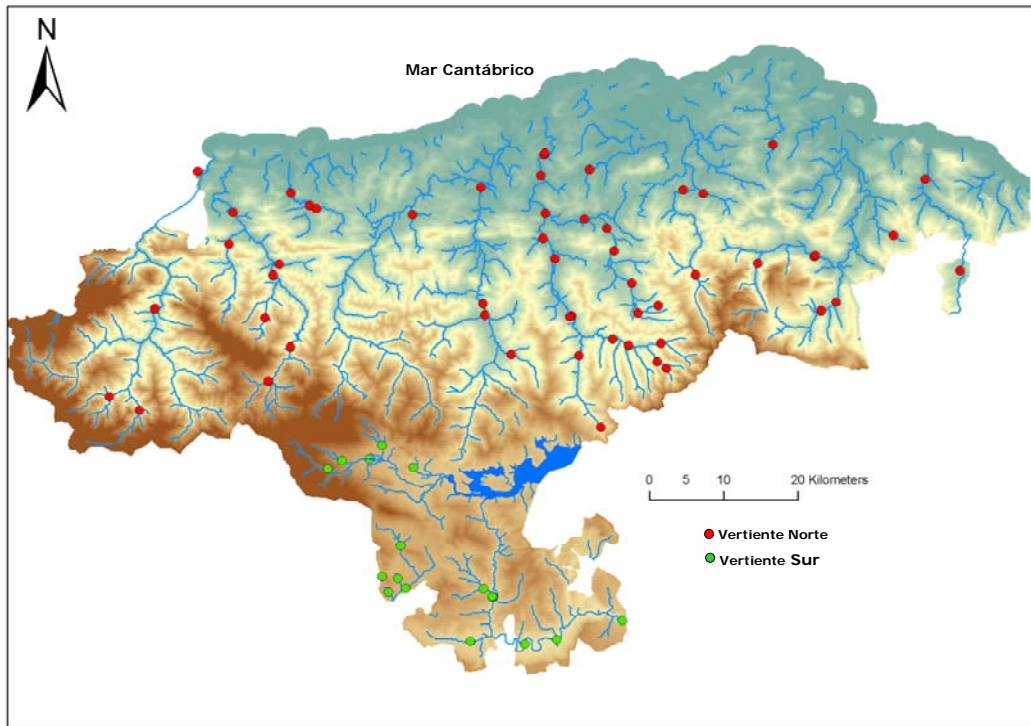


Figura M.1. Red de 76 puntos de estudio utilizados para valorar de la integridad de la comunidad ictiológicas en los LICs fluviales de Cantabria. Las muestras se tomaron en diferentes campañas desde el año 2003 al 2007.

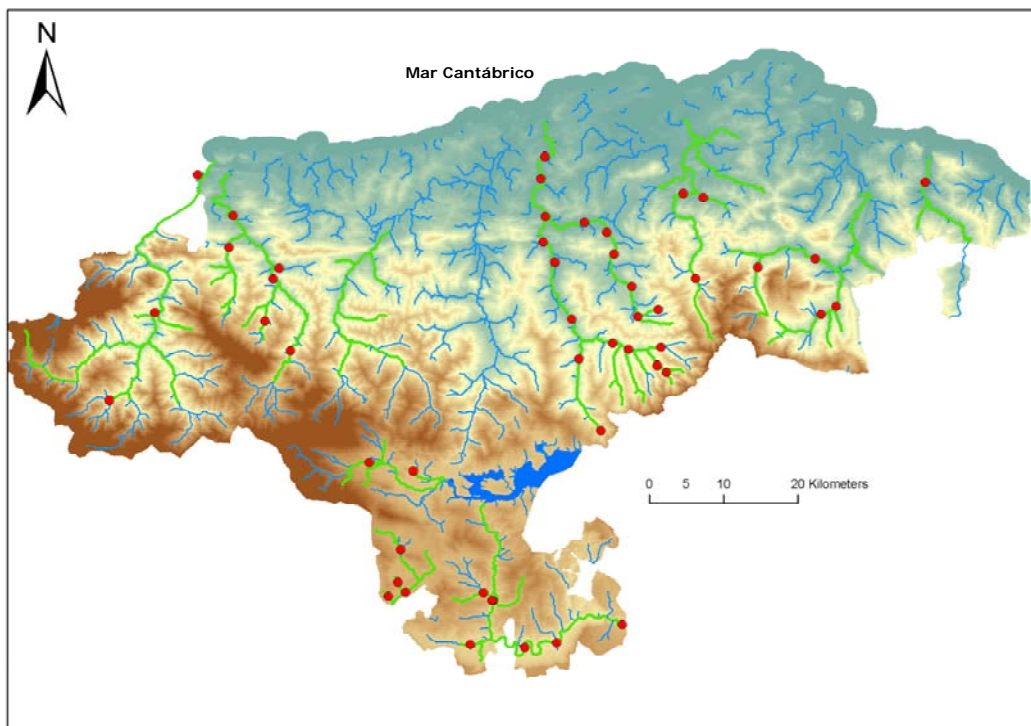


Figura M.2. Red de 48 puntos de estudio utilizados para valorar de la integridad de la comunidad ictiológicas en los LICs fluviales de Cantabria. Las muestras se tomaron en diferentes campañas desde el año 2003 al 2007.

4 Referencias de Interés

- Antón , A., L. Garcia -Arberas, and A. Rayo. 2009. Asistencia técnica para la Evaluación del estado de conservación de los ciprínidos de la directiva hábitat en las cuencas del Ebro y el camesa. Informe para el Gobierno de Cantabria. Campaña 2008. 112 pp.
- Belpaire, C., R. Smolders, I. V. Auweele, D. Ercken, J. Breine, G. Van Thuyne, and F. Ollevier. 2000. An Index of Biotic Integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. *Hydrobiologia* **434**:17-33.
- Carle, F. L., and M. R. Strub. 1978. A new methos for estimating population size from removal data. *Biometrics* **34**:621-630.
- Didier, J., and P. Kestemont. 1996. Relationships between mesohabitats, ichthyological communities and IBI metrics adapted to a European river basin (The Meuse, Belgium). *Hydrobiologia* **341**:133-144.
- Doadrio, I. 2001. Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Centro Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Fausch, K. D., J. R. Karr, and P. R. Yant. 1984. Regional Application of an Index of Biotic Integrity Based on Stream Fish Communities. *Transactions of the American Fisheries Society* **113**:39-55.
- Ganasan, V., and R. M. Hughes. 1998. Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India. *Freshwater Biology* **40**:367-383.
- Harris, J. H., and R. Silveira. 1999. Large-scale assessments of river health using an Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities. *Freshwater Biology* **41**:235-252.
- Hughes, R. M., and T. Oberdorff. 1998. Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States and Canada. Pages 79-93 *in* T. P. Simon, editor. *Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities*.
- Joy, M. K., and R. G. Death. 2004. Application of the index of biotic integrity methodology to New Zealand freshwater fish communities. *Environmental Management* **34**:415-428.
- Karr, J. R. 1981. Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities. *Fisheries* **6**:21-27.
- Karr, J. R. 1990. Biological integrity and the goal of environmental legislation: lessons for conservation biology. *Conservation Biology* **4**:244-250.
- Karr, J. R. 1991. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications* **1**:66-84.

- Kottelat, M., and J. Freyhof. 2007. Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany.
- Lyons, J., S. Navarroperez, P. A. Cochran, E. Santana, and M. Guzmanarroyo. 1995. Index of Biotic Integrity Based on Fish Assemblages for the Conservation of Streams and Rivers in West-Central Mexico. *Conservation Biology* **9**:569-584.
- Meador, M. R., T. R. Whittier, R. M. Goldstein, R. M. Hughes, and D. V. Peck. 2008. Evaluation of an index of biotic integrity approach used to assess biological condition in western US streams and rivers at varying spatial scales. *Transactions of the American Fisheries Society* **137**:13-22.
- Oberdorff, T. 1996. Réseau Hydrobiologique et Piscicole. Synthèse des Données 1995 sur le Bassin Seine-Normandie. Rapport Conseil Supérieur de la Pêche / Agence de l'Eau Seine-Normandie, Compiègne, France.
- Oberdorff, T., and J. P. Porcher. 1994. An Index of Biotic Integrity to Assess Biological Impacts of Salmonid Farm Effluents on Receiving Waters. *Aquaculture* **119**:219-235.
- Pinto, B. C. T., F. G. Araujo, and R. M. Hughes. 2006. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river. *Hydrobiologia* **556**:69-83.
- Ross, S. T. 1991. Mechanisms Structuring Stream Fish Assemblages - Are There Lessons from Introduced Species. *Environmental Biology of Fishes* **30**:359-368.

Apéndice A

Adaptación del Índice de Integridad Biótica (IBI) a los espacios acuáticos continentales de la Red Natura 2000 de Cantabria: Índice de Integridad de la Comunidad Ictiológica (ICI)

Índice de Integridad Biótica (IBI)

La evaluación de la integridad de las comunidades de peces se realiza mediante un sistema basado en el índice IBI (Índice de Integridad Biótica), el cual mide hasta qué grado el hábitat mantiene "una comunidad equilibrada, integrada y adaptada de organismos que tienen una composición, diversidad y organización funcional de especies comparables a los del hábitat natural de la región (Fausch et al. 1984, Karr 1990, 1991).

		Valoración de las métricas		
		5	3	1
Métricas de riqueza y composición de especies				
1. Número total de especies	Los valores esperados para la métrica 1-5 varían con el tamaño del río y la región considerada.			
2. Número e identidad de las especies de dardos				
3. Número e identidad de las especies de peces sol				
4. Número e identidad de las especies de peces chupadores				
5. Número e identidad de especies intolerantes				
6. Proporción de peces sol verdes		<5	5-20	>20
Métricas de estructura trófica				
7. proporción de individuos omnívoros		<20	20-45	>45
8. Proporción de individuos ciprínidos insectívoros		>45	45-20	<20
9. Proporción de individuos carnívoros superiores		>5	5-1	<1
Métricas de abundancia y condición de los peces				
10. Número de individuos en una muestra	Los valores esperados para la métrica 10 varían con el tamaño del río y la región considerada.			
11. Proporción de individuos como híbridos		0	>0-1	>1
12. Proporción de individuos con enfermedades, tumores, daños en las aletas o anomalías en el esqueleto		0-2	>2-5	>5
13. Biomasa total de peces (opcional)				

Tabla M.4. Métricas utilizadas por el Índice de Integridad Biológica (IBI) desarrollado para medir la integridad de las comunidades ictiológicas en el estado de Illinois (Karr, 1991). También se muestran las puntuaciones que toman las métricas según los valores que alcanzan.

La versión original del IBI utiliza 12/13 métricas, a cada una de las cuales se le asigna una puntuación de 5, 3 o 1, en función de su desviación con respecto a los valores esperados (Tabla M.4). Así, el IBI varía entre puntuaciones de 60/65 para los hábitats prístinos y 12/13 para los cursos de agua severamente impactados (Tabla M.5).

El IBI ha sufrido diferentes modificaciones para adaptarse a las comunidades ictiológicas de diferentes zonas del mundo (e.g. Lyons et al. 1995, Ganasan and Hughes 1998, Hughes and Oberdorff 1998, Harris and Silveira 1999, e.g. Belpaire et al. 2000, Joy and Death 2004, Pinto et al. 2006, Meador et al. 2008), ya que muchas de las métricas originales se seleccionaron para describir las variaciones en las comunidades de peces de los ríos del estado de Illinois, EE.UU. y, por lo tanto, no sirven para valorar el estado de las comunidades de peces en otras partes del mundo. Incluso los valores que toman algunas de las métricas originales en condiciones naturales fluctúan bastante entre distintos tipos de ríos (métricas 1-5 y 10; Tabla M.4). Por tanto, la adaptación del IBI a otras regiones ha requerido tanto la selección de un nuevo conjunto de métricas como la caracterización de las comunidades de peces en estado natural para calcular los valores esperados para cada una de las métricas utilizadas y tipo de río.

Valor del IBI	Clases de integridad	Condición de la Comunidad Ictiológica
58-60	Excelente	Comparable a la mejor situación sin perturbaciones humanas; todas las especies esperadas con densidades y estructuras de edad óptimas; estructura trófica balanceada.
48-52	Buena	Riqueza ligeramente por debajo de lo esperado debido a la pérdida de las formas más intolerantes; especies con densidades y clases de edad por debajo del óptimo; estructura trófica algo alterada.
40-44	Moderada	Menos especies; pérdida de formas intolerantes; estructura trófica sesgada hacia omnívoros y tolerantes; carnívoros superiores de edad raros.
28-34	Deficiente	Pocos peces presentes; la mayoría introducidos o formas tolerantes; híbridos comunes; enfermedades, parásitos, daños en aletas y otras anomalías muy frecuente.
12-22	Mala	Dominado por omnívoros, formas tolerantes, y generalistas de hábitat; muy pocos carnívoros superiores, peces híbridos y enfermos frecuentes.
Sin peces	Muy mala	Muestreos sucesivos muestran que no hay peces.

Tabla M.5. Puntuaciones finales del Índice de Integridad Biológica (IBI) desarrollado para medir la integridad de las comunidades ictiológicas en el estado de Illinois (Karr, 1991) asociadas a distintas clases de calidad de la integridad de la comunidad de peces.

Selección de métricas para valorar la integridad de la comunidad ictiológica (ICI)

Las 18 variables que se propusieron para formar parte de este índice multimétrico se indican en la Tabla M.6. Para seleccionar las variables más adecuadas de las 18 iniciales se han utilizado los datos obtenidos en un muestreo de peces llevado a cabo durante el mes de julio de 2007 en 14 tramos fluviales situados en los ríos Magdalena, Pas y Pisueña (Figura M.3). Dado que las comunidades de peces son diferentes en función del tipo de río en el que nos encontremos, es necesario establecer una serie de tipologías, o clasificación de tramos de río, en función de sus características ambientales. De esta

manera, se entiende que la estructura y composición de las comunidades de peces de 2 ríos de una misma tipología deberán ser similares, y podremos determinar los valores para las diferentes métricas que definan el nivel de integridad de las comunidades de peces (establecimiento de las condiciones de referencia).

1. Número de Especies	10. Número de Especies Intolerantes
2. Número de Individuos	11. Individuos con Anomalías (%)
3. Biomasa Total	12. Individuos Exóticos (%)
4. Número de Especies Nativas	13. Número de Individuos 0+ Trucha
5. Número de Especies Exóticas	14. Clases de Tamaño Salmónidos
6. Individuos Salmónidos (%)	15. Abundancia de la Especie Dominante (%)
7. Biomasa Salmónidos (%)	16. Biomasa de la Especie Dominante (%)
8. Individuos de Anguilas (%)	17. Individuos Omnívoros (%)
9. Biomasa de Anguilas (%)	18. Biomasa Omnívoros (%)

Tabla M.6. Variables propuestas para el diseño de un índice de integridad de la comunidad ictiológica para aplicar en los espacios acuáticos continentales de la Comunidad de Cantabria.

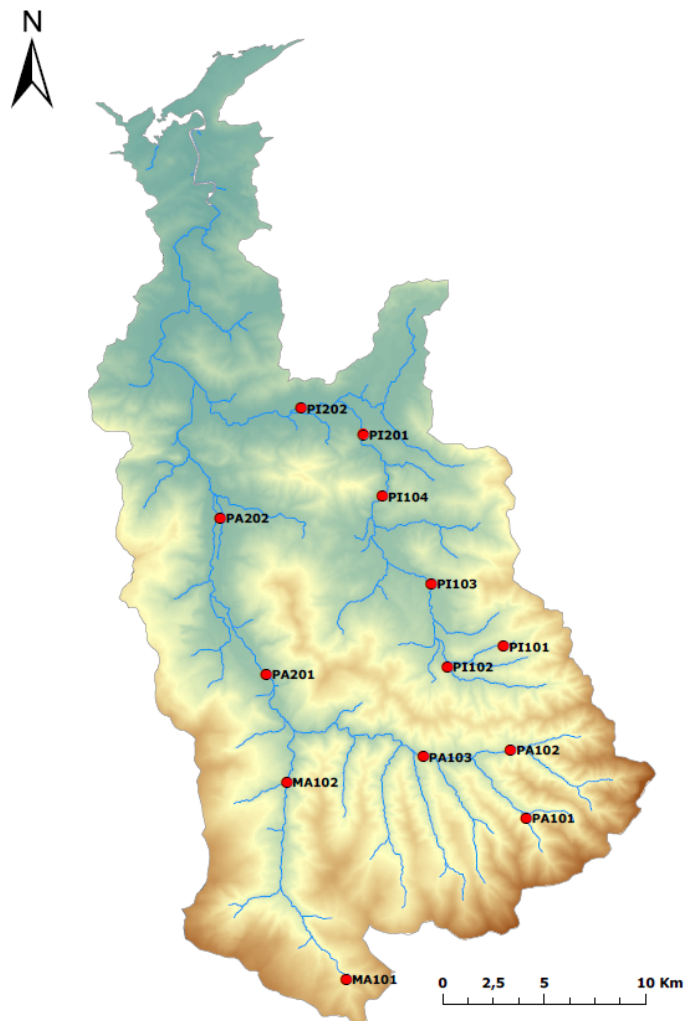


Figura M.3. Red de 14 tramos de río de la cuenca de los ríos Pas y Pisueña utilizados para determinar las variables incluidas dentro del ICI.

A partir de las variables presentadas en la Tabla M.6 se realizó una ordenación de las 14 localidades de muestreo (Figura M.4) mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP), que nos permitió distinguir tributarios, en la parte izquierda de la ordenación, ejes principales pequeños, en el medio, y ejes principales de tamaño medio-grande en la parte derecha de la ordenación (Figura M.4). En esta ordenación aparecieron distintos símbolos que agrupan a las diferentes localidades en función de los resultados de un análisis cluster, el cual refuerza los resultados obtenidos mediante el ACP.

El eje 1 de la ordenación explicó el 50% de la variación en nuestros datos y estuvo positivamente relacionado con la conductividad, la temperatura, la anchura del cauce, el caudal, y los sólidos totales disueltos, y negativamente con el pH y la concentración de oxígeno (Tabla M.7). Así que este eje puede interpretarse como un eje longitudinal del río, según nos desplazamos aguas abajo nos desplazamos hacia la derecha del eje. Pero además, dado que estaba positivamente correlacionado con la temperatura, la conductividad, los sólidos disueltos y negativamente con la concentración de oxígeno puede interpretarse como un eje que reflejaba también un deterioro en las condiciones del agua. Por tanto a partir de este eje se puede:

1. Definir tipologías de tramos de río para las 14 localidades muestreadas.
2. Usar el eje para comprobar la relación que tenían las diferentes métricas que se proponen para formar el índice de integridad de la comunidad ictiológica con el deterioro de las condiciones fisicoquímicas del agua.

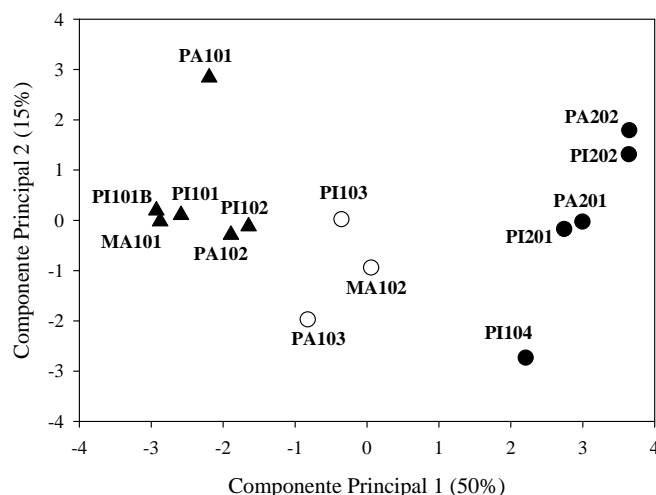


Figura M.4. Análisis de Componentes Principales sobre variables ambientales de las 14 estaciones en las que se ha muestreado la comunidad ictiológica en el LIC del río Pas en el mes de Julio de 2007(▲, tributarios; ○, ejes pequeños; ●, ejes mediano-grandes).

	Componente principal 1	Componente principal 2
Sólidos totales disueltos (mg/ml)	0.3690	0.0706
Anchura (m)	0.3635	0.1495
Profundidad (m)	0.3149	-0.4146
Velocidad (m/s)	0.1642	-0.1556
Caudal (m ³ /s)	0.3922	-0.1015
RQI	-0.1469	-0.6003
IHF	-0.2193	-0.5357

Tabla M.7. Correlación entre las distintas variables ambientales utilizadas para hacer el Análisis de Componentes Principales (ACP) y los ejes 1 y 2 de la ordenación.

De este modo, las 14 localidades muestreadas se agruparon en tres tipologías:

- Tributarios: MA101, PA101, PA102, PI101 y PI101B
- Ejes pequeños: MA102, PA103 y PI103
- Ejes mediano-grandes: PA201, PA202, PI104, PI201 y PI202

Los resultados del cálculo de los valores de de las métricas propuestas para cada localidad muestreada. se muestran en la Tabla M.8.

A partir de la correlación de las variables extraídas de la comunidad de peces con el eje 1 del ACP, se realizó una selección de aquellas variables que permitían discriminar entre un sitio con buena y mala calidad de agua (Tabla M.9). Además se añadieron 3 métricas, que aunque no tenían un coeficiente de correlación alto si que pueden ser útiles a la hora de aplicar el índice en otros ríos de Cantabria (Com. pers. Serdio, A.). En total se seleccionaron 12 métricas para diseñar el ICI. Cabe destacar que dado que la selección de variables puede estar condicionada por el bajo número de estaciones utilizadas sería aconsejable repetir este proceso incorporando los resultados obtenidos en un número mayor de ríos de toda la Comunidad Autónoma de Cantabria. Esto nos permitiría realizar una selección de métricas de manera más robusta que incorporase la variabilidad espacial de las comunidades ictiológicas de la región. En este sentido, se ha contado con los resultados de las campañas de campo correspondientes a la "Red de control biológico de la Confederación Hidrográfica del Norte" realizadas en Octubre de 2003 y Septiembre de 2006. Sin embargo, estos datos no han sido considerados para la selección de variables debido, principalmente, a las diferencias entre las fechas en que tuvieron lugar los muestreos así como algunas disparidades existentes en cuanto a la técnica de muestreo utilizada. Aún así, los resultados de dichas campañas fueron utilizados para calcular los valores de corte que determinaban la comunidad ictiológica tipo y la valoración de la integridad de la misma en los LICs fluviales.

	MA101	MA102	PA101	PA102	PA103	PA201	PA202	PI101	PI101B	PI102	PI103	PI104	PI201	PI202
1. Número de Especies	2	4	2	2	3	4	3	1	3	3	3	3	4	5
2. Número de Individuos	91	121	107	84	102	99	117	59	65	45	39	116	72	84
3. Biomasa Total	1607	4967	2407	2615	4120	6786	8412	2370	1732	712	2777	3576	3441	2879
4. Número de Especies Nativas	2	4	2	2	3	4	3	1	3	3	3	3	4	5
5. Número de Especies Exóticas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Individuos Salmónidos (%)	98,9	65,3	55,1	52,4	65,7	77,8	24,8	100,0	52,3	24,4	74,4	17,2	34,7	14,3
7. Biomasa Salmónidos (%)	91,0	68,7	94,1	92,7	96,7	96,8	81,2	100,0	67,8	83,4	70,2	50,3	69,9	47,6
8. Individuos de Anguilas (%)	1,1	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,0	0,0	3,1	0,0	5,1	10,3	18,1	27,4
9. Biomasa de Anguilas (%)	9,0	29,1	0,0	0,0	0,0	2,4	15,1	0,0	27,8	0,0	27,4	40,4	27,9	39,2
10. Número de Especies Intolerantes	1,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0
11. Individuos con Anomalías (%)	1,1	4,1	0,9	0,0	1,0	2,0	19,7	0,0	0,0	0,0	2,6	10,3	2,8	3,6
12. Individuos Exóticos (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13. Número de Individuos 0+ Trucha	18	0	1	0	2	1	0	7	1	2	3	0	2	0
14. Clases de Tamaño Salmónidos	5	3	6	4	7	7	5	4	4	4	7	6	4	4
15. Abundancia de la sp. Dominante (%)	98,9	37,2	55,1	52,4	45,1	48,5	69,2	100,0	52,3	75,6	74,4	71,6	47,2	46,4
16. Biomasa de la Especie Dominante (%)	91,0	18,2	94,1	92,7	82,7	86,0	3,7	100,0	67,8	16,6	70,2	8,2	2,2	4,3
17. Individuos Omnívoros (%)	1,1	34,7	44,9	47,6	34,3	21,2	75,2	0,0	47,7	75,6	25,6	81,9	65,3	73,8
18. Biomasa Omnívoros (%)	9,0	31,3	5,9	7,3	3,3	3,2	18,8	0,0	32,2	16,6	29,8	48,6	30,1	43,6

Tabla M.8. Selección de métricas para utilizar en el índice multimétrico diseñado para la valoración de la integridad de las comunidades ictiológicas en los espacios acuáticos continentales incluidos en la Red Natura 2000 de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Variables	Componente principal 1
Número de Especies Nativas	0,74
Número de Individuos	0,36
Biomasa Total	0,70
Individuos Salmónidos (%)	-0,56
Número de Individuos 0+ Trucha	-0,46
Individuos de Anguilas (%)	0,69
Número de Especies Exóticas	0,00
Individuos Exóticos (%)	0,00
Número de Especies Intolerantes	0,53
Individuos con Anomalías (%)	0,64
Biomasa de la Especie Dominante (%)	-0,68
Biomasa Omnívoros (%)	0,46

Tabla M.9. Correlación del eje 1 de la ordenación del ACP con las variables seleccionadas para incluir en el índice para valorar la integridad de las comunidades ictiológicas en los espacios acuáticos continentales incluidos en la Red Natura 2000 de la Comunidad Autónoma de Cantabria.

Por otro lado hay que señalar que debido a las disparidades entre las técnicas de muestreo y con el fin de unificar los resultados del índice para poder compararlos con un valor de referencia común se ha optado por modificar algunos de las métricas incluidas en el índice. En este sentido, algunas de las métricas que utilizaban valores absolutos, es decir, que no son porcentajes, han sido ponderadas por la superficie muestreada. En concreto han sido modificados la biomasa total, el número de individuos y el número de individuos de trucha 0+. Por último, y con el fin facilitar la "lectura" de estos índices, de modo que ofreciesen un valor más informativo se ha multiplicado por 100 en el caso de la biomasa total y el número de individuos y por 1000 el número de individuos de trucha 0+.

Finalmente hay que señalar que de las 12 métricas propuestas inicialmente (Tabla M.9) se ha eliminado el porcentaje de Individuos con anomalías, ya que en los muestreos pertenecientes a la "Red de Control biológico de la Confederación Hidrográfica del Norte" los individuos capturados no fueron examinados en busca de anomalías o parásitos.

En el caso de las cuencas de los ríos Ebro y Camesa se ha contado con los datos correspondientes a los muestreos realizados dentro del proyecto "*Asistencia técnica para la Evaluación del estado de conservación de los ciprínidos de la directiva hábitat en las cuencas del Ebro y el Camesa*" (Antón et al. 2009). Para valorar la integridad de la comunidad ictiológica en estos ríos se optado por el uso de las mismas métricas, si bien algunas de ellas han sido eliminadas o sustituidas debido a que, con los datos de campo, no era posible calcular ciertas métricas o a que no eran apropiadas debido a la propia naturaleza de los ríos. En este sentido han sido eliminadas del índice la biomasa total y la biomasa de la especie dominante. Así mismo, el porcentaje de biomasa de omnívoros ha

sido sustituido por el porcentaje de individuos omnívoros. Finalmente, debido a la ausencia de anguilas (*Anguilla anguilla*) en los tramos de río analizados se ha optado por sustituir el porcentaje de individuos de anguilas por el porcentaje que representa la suma de los individuos de barbo (*Luciobarbus graellsii*) y gobio (*Gobio lozanoi*). Al igual que la anguila, estas especies son resistentes a cierta reducción de la calidad de las aguas.

Descripción de las métricas seleccionadas para valorar la integridad de la comunidad ictiológica.

A continuación se describe el método de cálculo de las métricas utilizadas en el ICI y se discute brevemente su validez para valorar la integridad e la comunidad ictiológica.

1. Número de especies nativas

El número de especies piscícolas, y especialmente las nativas, desciende con el aumento de la alteración a la que se ve sometido un tramo de río (Karr 1981, Oberdorff and Porcher 1994, Hughes and Oberdorff 1998).

El número de especies nativas de referencia se consideró en función de la distribución potencial tal como se relacionan en la Tabla M.10.

Esta distribución potencial de las especies piscícolas se ha determinado con base en los resultados obtenidos en los muestreos realizados por la Confederación Hidrográfica del Cantábrico durante los años 2003 y 2006, el IH Cantabria durante el año 2007 y la Dirección General de Biodiversidad en el año 2008. Así mismo se han utilizado las fichas de especies incluidas en el Documento V tomo III del plan marco de Gestión de los LICs de la comunidad autónoma de Cantabria, el Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (Doadrio 2001), el Handbook of European Freshwater Fishes (Kottelat and Freyhof 2007) y en aquellos casos en que no existía ningún tipo de información (especialmente en cuenca el Ebro), se ha aplicado el criterio de experto.

Especie	Deva	Nansa	Saja	Pas	Miera	Asón	Agüera	Ebro	Camesa
<i>Salmo Salar</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Salmo trutta</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ptomyzon marinus</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Parachondostoma miegii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Alosa alosa</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Anguilla anguilla</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Luciobarbus graeslii</i>						X	X	X	
Mugilidae	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Platichthys flesus</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Cobitis calderoni</i>								X	X
<i>Achondrostoma arcasii</i>								X	X

Especie	Deva	Nansa	Saja	Pas	Miera	Asón	Agüera	Ebro	Camesa
<i>Pseudochondrostoma duriensis</i>									X
<i>Squalius caroliteii</i>									X
<i>Barbus haasi</i>								X	
<i>Gobio lozanoi</i>								X	
<i>Salaria fluviatilis</i>								X	
<i>Barbatula quignardi</i>								X	
<i>Squalius pyrenaicus</i>								X	

Tabla M.10. Distribución potencial de las especies piscícolas en los LICs fluviales de Cantabria.

2. Número de especies intolerantes

Mediante esta métrica es posible distinguir lugares con alta calidad ambiental, ya que las especies intolerantes son las primeras en desaparecer ante un aumento de las perturbaciones ambientales (Karr 1981, Hughes and Oberdorff 1998).

Las especies se han seleccionado en función de su tolerancia a diferentes impactos como las barreras a la migración o la disminución de la calidad del agua, trabajo que se ha llevado a cabo según la información recopilada en el Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (Doadrio 2001) y los resultados obtenidos en el marco del proyecto fish-based assessment method for the ecological status of European rivers (FAME; <http://fame.boku.ac.at>). En este sentido se han considerado como especies intolerantes a *Salmo salar*, *Salmo trutta*, *Pracondrostoma miegii*, *Cobitis calderoni*, *Alosa alosa* y *Ptomyzon Marinus*.

3. Número de especies exóticas

El desarrollo y establecimiento de especies exóticas es más exitoso en lugares sometidos algún tipo de alteración antropogénica (Ross 1991). Por lo tanto, el aumento de especies exóticas es un indicador del aumento de las perturbaciones en el medio o, al menos, nos informa de que las comunidades piscícolas se ven sometidas a algún tipo de manejo para alcanzar diferentes objetivos como la mejora pesca o el control de otras especies.

Se consideraron como especies exóticas aquellas cuya distribución real alcanzaba límites más allá de su distribución potencial (Tabla M.9).

4. Porcentaje de biomasa/individuos de omnívoros

El porcentaje de omnívoros valora el grado en que la cadena trófica está alterada en favor de especies capaces de alimentarse o digerir tanto plantas como animales (Hughes and Oberdorff 1998). De esta manera el porcentaje de omnívoros tiende a incrementarse bajo condiciones alteradas (Karr 1981).

El grupo funcional al que pertenecen las especies se ha determinado con base a la información recopilada en el Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (Doadrio 2001) y los resultados obtenidos en el marco del proyecto FAME. En este sentido se han considerado como especies omnívoras a *Phoxinus phoxinus*, *Anguilla anguilla* y *Luciobarbus graeslii*.

Para los puntos situados en las cuencas de la vertiente norte este índice se calculó como la suma de la biomasa de todos los individuos pertenecientes a especies omnívoras entre la suma de la biomasa de todos los individuos capturados. En el caso de los puntos situados en la vertiente sur, frente a la falta de mediciones del peso de los individuos capturados y por tanto de la biomasa, este índice se calculó como la suma de todos los individuos de las especies omnívoras entre el número total de individuos capturados.

5. Porcentaje de individuos salmónidos (carnívoros superiores)

La existencia de poblaciones viables y estables de especies de carnívoros superiores, en nuestro caso *Salmo salar* y *Salmo trutta*, es un buen indicador de la existencia de una comunidad sana y tróficamente diversa (Karr 1981).

Este índice se calculó como la suma de los individuos capturados de *Salmo Salar* y *Salmo trutta* dividido entre el número total de individuos capturados.

6. Número de individuos (x 100) por unidad de superficie

Se considera que la abundancia de individuos es un buen indicador de la productividad del sistema, de modo que se esperaría que en los lugares impactados existiese un menor número de individuos que en los no impactados (Karr 1981).

Para equiparar todos los resultados se ha calculado el número de individuos por área muestreada (Hughes and Oberdorff 1998). Finalmente este valor se ha multiplicado por cien, tratando de generar un valor final de la métrica más fácilmente comparable con los valores guía. Este valor es equiparable a la abundancia en 100 m².

7. Biomasa total por unidad de superficie

Algunos autores han apreciado que la biomasa total puede ser mejor indicador de la productividad que la abundancia total (Didier and Kestemont 1996), ya que la consideración del número de individuos puede acarrear cierto error al tener en cuenta especies muy abundantes pero de muy pequeño tamaño, como *Phoxinus phoxinus*.

Como en el caso anterior se ha considerado la biomasa por área muestreada (m²) que posteriormente se ha multiplicado por 100 para generar unos valores más fáciles de visualizar y comparar.

8. Porcentaje de biomasa de la especie dominante

Se considera que una comunidad que presente un elevado grado de dominancia no está equilibrada, lo que probablemente se deba a que está sometida a algún tipo de impacto.

Para calcular esta métrica se divide la biomasa de la especie que mayor biomasa represente en la muestra entre la biomasa total de la muestra.

9. Porcentaje de individuos anguila/ Porcentaje de individuos de barbo y gobio

Como se ha comentado anteriormente, el aumento de la abundancia relativa de una especie intolerante está relacionado con un incremento de las perturbaciones a las que se ve sometido un tramo de río (Karr 1981). Originalmente, Karr (1981) utilizó el porcentaje de *Lepomis cynarellus* para representar dicho grado de perturbación, mientras que otros autores han utilizado a *Anguilla anguilla* (Oberdorff and Porcher 1994) y otras especies (Oberdorff 1996, Hughes and Oberdorff 1998, Belpaire et al. 2000) con el fin de adaptar la métrica a la composición de la comunidad presente en el río estudiado. En teoría, la abundancia de especies intolerantes aumenta con el aumento de la alteración a la que se ve sometido un tramo de río hasta volverse dominantes en los lugares impactados severamente.

Esta métrica es un complemento al número de especies intolerantes y distingue los puntos con moderada y baja calidad (Hughes and Oberdorff 1998).

Esta métrica se calculó como el número de individuos de anguila dividido entre el número total de individuos capturados. Ante la ausencia de esta especie en las cuencas de la vertiente sur de Cantabria se ha sustituido la anguila por la suma de barbos y gobios, al ser dos especies tolerantes (Doadrio, 2001; FAME).

10. Número de Individuos 0+ Trucha x 1000 por unidad de superficie

Esta métrica valora el grado en que las poblaciones de una especie en un tramo fluvial pueden ver alterada su capacidad reproductora frente a un aumento en el número y grado de presiones (Oberdorff and Porcher 1994)

Para valorar esta métrica se ha calculado el número de individuos de trucha menores de 95 mm, considerando esta la máxima talla para alevines, por área muestreada (m²). Posteriormente este valor se ha multiplicado por 1000 para generar unos valores más fáciles de visualizar y comparar.

11. Porcentaje de individuos exóticos

Como se ha comentado anteriormente, el desarrollo y establecimiento de especies exóticas es más exitoso en lugares sometidos algún tipo de alteración antropogénica (Ross 1991). Así mismo, los individuos de estas especies aumentan su abundancia relativa ante una mayor degradación del medio hasta convertirse en las especies dominantes en un tramo (Ganasan and Hughes 1998).

Esta métrica se calculó como la suma de individuos pertenecientes a especies exóticas entre el número total de individuos.

Determinación de los valores que definen las comunidades ictiológicas “tipo”.

El siguiente paso en la construcción del ICI es la determinación de los umbrales de cada métrica que permitan valorar el estado de la comunidad ictiológica en cada estación. Para ello hay que seleccionar de un número suficiente de localidades que puedan considerarse en muy buen estado ecológico (o prístinas) dentro de cada tipología fluvial establecida. De las 76 estaciones de muestreo en todo Cantabria (Figura M.1) se seleccionaron 18 en la vertiente norte y 8 en la vertiente sur (Figura M.5) en condiciones naturales las cuales estaban repartidas entre 9 topologías fluviales. A la vista de este resultado, se consideró que el número de estaciones en muy buen estado ecológico era insuficiente para aplicar la metodología de establecimiento de umbrales tal y como la proponen la mayoría de los autores (e.g. Karr 1981, Fausch et al. 1984, Harris and Silveira 1999, Joy and Death 2004). Por esta razón, para determinar los valores que definen de las comunidades “tipo” de cada tipología fluvial se analizó el rango de variación de las diferentes métricas en las estaciones de referencia y se propusieron unos valores estándar, en conjunción con los valores propuestos para el IBI (Karr, 1990) y por diferentes modificaciones del mismo. Adicionalmente, en aquellos casos en los que los que se consideró oportuno, especialmente a la hora de dotar de coherencia a los valores de corte de las métricas a lo largo del sistema fluvial (tipologías), se aplicó el criterio de experto.

Por tanto, al no tener suficientes estaciones de muestreo en condiciones de referencia en cada una de estas tipologías los valores propuestos para asignar las puntuaciones del ICI han de tomarse con carácter provisional, debiendo cumplimentarse en el futuro con un número suficiente de estaciones en cada tipología ecológica de los espacios acuáticos fluviales de la red Natura 2000 en Cantabria.

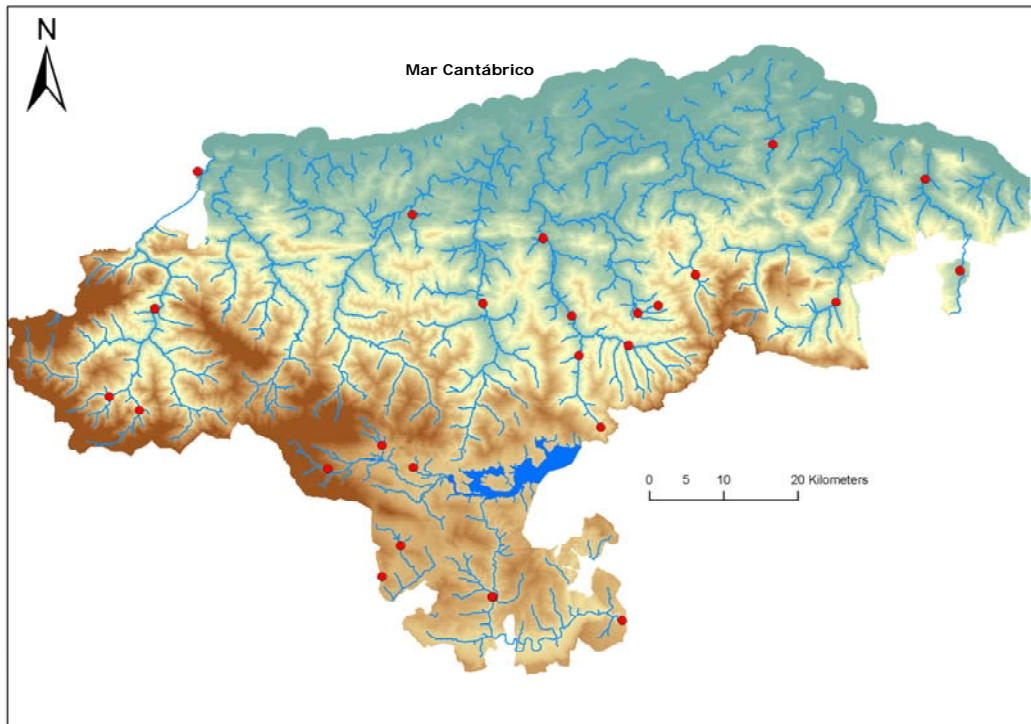


Figura M.5. Red de 26 puntos de estudio a partir de los cuales se calcularon los valores de corte para evaluar la integridad de las comunidades de peces en los LICs fluviales de Cantabria.

Apéndice B

Metodología de muestreo para aplicar el índice de integridad de la comunidad ictiológica (ICI)

El cálculo del Índice de la Integridad de la Comunidad Ictiológica (ICI) no cuenta con una metodología de muestreo estandarizada, ya que tan sólo se ha realizado el ensayo de una metodología en 14 localidades de la cuenca del Pas-Pisueña y no se han contrastado diferentes métodos. A continuación vamos a describir brevemente cual fue la metodología de muestreo seguida.

El muestreo de las 14 localidades en la cuenca del río Pas-Pisueña se realizó mediante una pasada de pesca eléctrica de aproximadamente 20 min. en cada estación de muestreo (coincidente con el muestreo de macroinvertebrados y bosque de ribera). El mantener la unidad de esfuerzo de pesca constante permite comparar la pesca obtenida en estaciones de muestreo de ríos de diferente tamaño y tipología.

CENSO DE PECES							
	Estación		Fecha		Hora		
	U. Esfuerzo (min)				Nº Capturas		
	Coordenadas		UTM_Y		UTM_Y		
	L. Tramo (m)		Anc. tramo (m)		Cond. (µS/cm)		
	Temperatura (°C)		O ₂ Disuelto (5)		Redox		Nº Muertes
	pH		O ₂ con (mg/ml)		TDS		
MINUTA CENSAL							
Código	N. Científico	N. Común	L. Total (mm)	L. Furcal (mm)	L. Estándaar (mm)	Peso (g)	Anomalías
Anomalias:							
D= Deformidades, A= Aletas erosionadas, P= Parásitos, O= Otras							

Tabla M.11. Estadillo de muestreo utilizado en el muestreo de la comunidad ictiológica de 14 localidades del río Pas-Pisueña durante el mes de Julio de 2007.

En el muestreo un operario llevaba el ánodo y 2 muestreadores se encargaron de ir recogiendo los peces capturados en recipientes que fueron vaciando sucesivamente en tanques situados fuera del tramo pescado. Los peces capturados se mantuvieron en recipientes aireados artificialmente. Otros 2 operarios se encargaron de anestesiar (mediante extracto de clavo), medir y pesar los peces, así como examinarlos para buscar anomalías o parásitos. La devolución de los peces al río se realizó siempre en un lugar apropiado una vez se recuperaron de la anestesia. Además, se estimó el número de individuos muertos por el muestreo.

A partir de los datos obtenidos al rellenar el estadillo de campo (Tabla M.11) se pueden calcular todas las métricas seleccionadas para integrar el ICI. El material de muestreo utilizado se presenta en la Tabla M.12.

Material de muestreo	
<i>Esencial:</i>	<i>Otros:</i>
Vadeadores y botas	Sonda multiparamétrica
Equipo de primeros auxilios	GPS
Equipo de pesca eléctrica	Cámara de fotos
Pértiga (ánodo)	Cinta métrica
Cola de ratón (cátodo)	Hojas de campo - estadillos
Sacaderas y salabres	
Cubos de plástico	
Contenedores para peces de diferentes tamaños	
Recipientes para muestras de peces	
Balanza digital de precisión 0,1g.	
Ictiómetro(s) o regla para medir peces	
Bandejas blancas	
Oxigenador-Aireador (en ausencia de contenedores con rejillas)	
Anestésico (extracto de clavo)	

Tabla M.12. Material utilizado en el muestreo de la comunidad ictiológica de 14 localidades del río Pas-Pisueña durante el mes de Julio de 2007.

La técnica de muestreo utilizada fue escogida por su relativa sencillez, si bien cabe destacar que presenta algunas limitaciones. Esta técnica no permite estimar la diversidad, biomasa y densidad total de peces en un tramo de río. Además ciertas especies de peces pueden ser más propensas que otras a escapar del tramo de río que esta siendo pescado y, por lo tanto, los resultados que obtenemos pueden estar fuertemente sesgados. Aunque esta técnica puede ser válida para establecer determinados seguimientos de la comunidad ictiológica, el error en la estima de los parámetros de la comunidad es desconocido. Por ello, sería necesario establecer un contraste con otras técnicas más exhaustivas que permitiesen calcular la eficiencia de la pesca realizada.

Para realizar dicho contraste se plantea utilizar un método de estimación de la población comúnmente conocido como método de Máxima Verosimilitud Ponderada (Carle and Strub 1978). Esta metodología se basa en el censo de la comunidad de peces utilizando métodos de captura y recaptura. Este método se ha elegido frente a otros dado que nos permite estimar con relativa precisión el número de individuos y la biomasa de cada especie y de toda la comunidad en un tramo de río concreto. El estimador de máxima verosimilitud ponderada del número total de individuos, N , se obtiene mediante un proceso de cálculo iterativo que permite calcular la probabilidad de captura y el error estándar, así como los límites de confianza.

Aguas arriba y aguas abajo del tramo que se pretende muestrear se tienen que localizar redes de cierre para aislar completamente la comunidad de peces ante posibles migraciones que puedan alterar los cálculos que se realicen posteriormente. Sin embargo en muchos casos se puede considerar que el tramo a muestrear está cerrado de forma natural mediante saltos de agua. La unidad de esfuerzo en cada pasada deberá ser homogénea y es necesario realizar una estimación de la superficie de río pescada.

Una vez realizada la comparación entre ambas técnicas se puede valorar si el error que comete el primer método es lo suficientemente pequeño o grande como para considerar la metodología de muestreo como aceptable o como deficiente, respectivamente.