

Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera

FERNANDO MAGDALENO (*), ROBERTO MARTÍNEZ (*) y VIOLETA ROCH (**)

RESUMEN Se presenta en este documento un índice (RFV – Riparian Forest Evaluation) para la valoración del estado del bosque de ribera en ríos permanentes. La Directiva 2000/60/CE establece la necesidad de introducir elementos de valoración de la calidad hidromorfológica de los cauces naturales. Entre otros aspectos, incorpora la calidad del bosque ripario como uno de los aspectos fundamentales en la determinación de la estructura de la zona ribereña. Con tal fin, y con objeto de completar las metodologías de valoración del bosque ripario existentes en la actualidad, se presenta este índice RFV. Su determinación se basa en la valoración de la continuidad espacial del bosque de ribera (en sus tres dimensiones – longitudinal, transversal y vertical) y de la continuidad temporal del bosque, representada por la regeneración natural de la vegetación, garante de su continuidad futura. El índice presentado permite evaluar la calidad y grado de alteración del bosque ripario. Asimismo, permite establecer los objetivos de gestión necesarios para mejorar el estado del bosque de ribera, y para llevar a cabo procesos de restauración de su estructura y composición.

RFV INDEX FOR THE EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATUS OF RIPARIAN FORESTS

ABSTRACT This paper presents an index (RFV – Riparian Forest Evaluation) for the assessment of the ecological condition of the riparian forest in perennial rivers. The development of the Directive 2000/60/EC requires the utilization of methods for the assessment of the hydromorphological quality of the natural channels. Among others, it includes the condition of the riparian forest as one of the fundamental components in the determination of the structure of the riverine areas. The RFV index is presented with that aim, and also to improve the existing methodologies for the valorisation of the riparian forests. Its calculation is based on the assessment of the spatial continuity of the forest (in its three core dimensions – longitudinal, transversal and vertical) and the temporal continuity of the forest, represented by its natural regeneration, as a guarantee of its future continuity. This index makes possible the valorisation of the quality and degree of alteration of the riparian forest. Besides, it helps to determine the management scenarios that are necessary to improve the status of the riparian forest, and to develop processes of restoration of its structure and composition.

Palabras clave: Bosque ripario, Directiva Marco del Agua, Estado ecológico, Índice, Hidromorfología.

Keywords: Riparian forest, Water Framework Directive, Ecological status, Index, Hydromorphology.

1. INTRODUCCIÓN

En España, Munné *et al.* (1998, 2003) han propuesto el índice QBR (Qualitat del Bosc de Ribera), que ha sido ampliamente utilizado en diferentes cuencas hidrográficas inter e intracomunitarias españolas (González del Tánago *et al.*, 1998; Suárez & Vidal Abarca, 2000). Este índice se centra en cuatro aspectos fundamentales: grado de cubierta vegetal de la zona riparia, estructura de la cubierta, calidad de la cubierta y grado de naturalidad del canal fluvial. Se han desarrollado también versiones de este índice fuera de España, como la adaptación a los ríos de Ohio (Colwell & Hix, 2008), o la aplicación a ríos de Queensland, Australia (Pettit, 2002).

González del Tánago *et al.* (2006) proponen la aplicación del índice RQI (Riparian Quality Index), que valora la calidad ambiental de las riberas, incluyendo la condición del bosque ripario. Este índice tiene en cuenta la continuidad longitudinal del bosque, las dimensiones en anchura del espacio de vegetación asociada al río, la composición y estructura de la vegetación riparia y la regeneración natural de la vegetación arbórea y arbustiva. La aplicación del índice está asociada, en términos generales, a la tipología del valle por la que discurre el cauce estudiado.

Por su parte, Gutiérrez *et al.* (2001) han desarrollado el Índice de Vegetación Fluvial (IVF). Se trata de un índice florístico que integra la información que ofrecen un conjunto de especies vegetales que ocupan el espacio fluvial. Exige un análisis mucho más detallado de la vegetación de ribera que el QBR. Ambos índices han sido incorporados por la Agencia Catalana de l'Aigua dentro del protocolo HIDRI para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos de Cataluña (ACA, 2006) (tabla 1).

(*) Área de Ingeniería Ambiental – Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX, Ministerio de Fomento – Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino). C/ Alfonso XII, 3. 28014 Madrid.

(**) Consultora.

Nivel de calidad	Coloración de la Directiva Marco del Agua	IVF: Cursos de agua tipo "permanente-semipermanente"	IVF: Cursos de agua tipo "torrencial" y/o "efimero"	QBR
Muy bueno	Azul	8 – 10	7 – 10	> 90
Bueno	Verde	6 – 8	5 – 7	75 – 90
Moderado	Amarillo	4 – 6	3.5 – 5	55 – 70
Deficiente	Naranja	2 – 4	2 – 3.5	30 – 50
Malo	Rojo	0 – 2	0 – 2	< 30

TABLA 1. Niveles de calidad según los índices QBR e IVF (ACA, 2006).

El IVF evalúa la naturalidad de la vegetación, y no la riqueza, complejidad o interés de la formación. El índice se basa en la agregación ponderada del recubrimiento de las comunidades y especies presentes y de la puntuación que se asigna a cada una de las especies a partir de su carácter más o menos natural. Todos los taxones se clasifican en seis categorías de diferente significado autoecológico, según si señalan condiciones ruderales o nitrogenadas, si son plantas alóctonas, si corresponden a ambientes de ribera bien conservados, etc.

Otros índices de evaluación de la calidad del hábitat ripario atienden básicamente al estado de la fauna asociada al río (Rankin, 1989; Chovanec *et al.*, 2005), aunque usen, entre sus parámetros, a la vegetación de ribera del río.

Existen, asimismo, algunos índices de calidad de la vegetación centrados específicamente en humedales (Índice VIBI - Vegetation Index of Biotic Integrity, Mack, 2001; López & Fennessy, 2002).

El índice presentado (RFV) aporta los siguientes elementos en la valoración del estado del bosque de ribera:

- I. El cálculo de los indicadores incorpora una base geomorfológica asociada a la estructura y funcionamiento del cauce.
- II. Su determinación en campo es sencilla, pero ofrece una visión completa del estado ecológico del bosque de ribera.
- III. La valoración final del índice no se basa en la suma directa de indicadores, sino que penaliza en el resultado final el mal estado de alguno de sus indicadores.
- IV. Se ofrece una ampliación asociada (RIC-DAR) que permite la valoración en continuo del estado ecológico del bosque de ribera.

2. METODOLOGÍA

2.1. DESARROLLO METODOLÓGICO

El índice de evaluación del estado del bosque de ribera (RFV) se basa en la valoración de la continuidad espacial del bosque de ribera (en sus tres dimensiones – longitudinal, transversal y vertical) y de la continuidad temporal del bosque, representada por la regeneración natural de la vegetación, garante de su continuidad futura, a partir de la agregación directa del valor de esos cuatro elementos.

Considerando la enorme variabilidad hidromorfológica de las cuencas españolas, se ha optado por seleccionar un mecanismo de evaluación que tenga en cuenta la estructura y funcionamiento de los diferentes sistemas fluviales. Existen diferentes aspectos que cuentan con una notable influencia sobre estos elementos (tipo y pendiente del valle, controles litológicos, vegetación de ribera, usos del suelo, etc.), pero es el régimen hidrológico el que condiciona, en mayor medida, los atributos geomorfológicos de un sistema fluvial. El caudal dominante de un

río se encuentra estrechamente relacionado con diferentes características geomorfológicas de un cauce. El caso más claro de control es el que se establece entre el caudal dominante y la anchura de bankfull (o anchura de cauce lleno) de un río. Por ello, todos los componentes de continuidad que evalúa el índice RFV serán determinados teniendo en cuenta la anchura de bankfull del río, y de manera relativa a esta magnitud.

El diseño del índice RFV se ha basado en el estudio de ríos permanentes, ya que las singularidades hidromorfológicas y ecológicas de los ríos temporales, intermitentes y efímeros aconsejan la utilización de indicadores asociados a las características específicas de cada cauce estacional.

2.2. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE BANKFULL

El caudal del nivel de bankfull cuenta con una elevada importancia geomorfológica, al estar relacionado con dimensiones fundamentales del cauce, como es la anchura. El caudal de bankfull básicamente controla la morfología de los cauces aluviales. Wolman y Leopold (1957) lo definen como el caudal que hace que el flujo de agua empiece a rebosar la llanura de inundación activa; la llanura de inundación activa es definida como la superficie plana adyacente al cauce generado por el río e inundada por éste con una recurrencia de intervalo en torno a dos años o menos.

El caudal de bankfull representa el nivel más alto del rango de flujos formadores del cauce (Wolman y Miller, 1960). Es también el flujo que mantiene el transporte de sedimento procedente de aguas arriba, formando y eliminando barras, formando o modificando curvas y desarrollando el trabajo que origina las características morfológicas medias del cauce (Dunne y Leopold, 1978).

La correcta identificación en campo del nivel de bankfull depende de la precisión y consistencia de la interpretación de las interrelaciones entre dimensiones, patrón, perfiles y flujo (Rosgen, 1996). La llanura de inundación activa es el mejor indicador del nivel de bankfull. La identificación más fiable del nivel de bankfull es el tope de la llanura de inundación.

En ríos de montaña con pendiente pronunciada es difícil o imposible determinar el nivel de bankfull. También hay que tener en cuenta que los ríos alterados, o fuertemente desequilibrados en cuanto a la movilización de sedimentos (predominio de sedimentación o erosión) pueden dar indicadores falsos de dicho nivel.

Por estas razones, resulta conveniente emplear diferentes indicadores para apoyar la decisión tomada en la identificación del nivel de bankfull. A continuación se enumeran algunos de los indicadores más comunes:

- a. La elevación asociada con el punto más alto de los elementos de deposición de sedimentos (p.ej., barras centrales en el cauce y especialmente el tope de las barras interiores de las curvas que define el nivel más bajo posible de bankfull).

- b. Cambio en la vegetación: conviene observar el límite inferior de la vegetación permanente en la orilla, o algún cambio en la densidad o tipo de vegetación. En las superficies más bajas que la llanura de inundación, la vegetación o no existe o es anual. Los sauces y especialmente los alisos, normalmente forman alineaciones próximas al nivel de bankfull. El límite inferior de musgos o líquenes en rocas u orillas también puede indicar el nivel de bankfull.
- c. Cambio de pendiente: los cambios de la pendiente tienen lugar a lo largo de la sección transversal. El cambio de una orilla vertical a una superficie horizontal es el mejor indicador de la llanura de inundación y del nivel de bankfull, especialmente en ríos meandrosos de baja pendiente. Es normal encontrar diferentes cambios de pendiente en la sección, por lo que es recomendable examinar las orillas en varias secciones del tramo para contrastar valores. Conviene tener en cuenta que los cambios de pendiente también marcan el comienzo de las terrazas.
- d. Cambio de los materiales de orilla: cualquier cambio en el tamaño de partícula indica la acción de diferentes procesos. Los materiales más finos están asociados con zonas de

- deposición por inundación, mientras que los materiales más gruesos se depositan en el cauce activo. Los cambios de pendiente pueden estar asociados con los cambios del tamaño de partícula.
 - e. Socavación de orillas: haces de pequeñas raíces bajo una capa de suelo intacto indican exposición a la erosión. La socavación de orillas es usada como indicador en cauces de pendiente elevada en ausencia de llanura de inundación. Si existe llanura de inundación, la parte superior de ésta es mejor indicador del nivel de bankfull que la socavación de orillas.
 - f. Líneas de coloración: conviene observar en las rocas las líneas de coloración ocasionadas por las inundaciones frecuentes. Éstas pueden ser debidas a sedimentos o líquenes. Las líneas de coloración son ocasionadas, a menudo, por caudales más frecuentes, por lo que el nivel de bankfull se encuentra sobre la banda de coloración más alta.
- Se considera adecuado estudiar un perfil longitudinal con una longitud mínima de veinte anchuras de bankfull, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo de interés, de cara a determinar la naturaleza y presencia de un indicador representativo del nivel de bankfull para el tramo. El valor señalado

FIGURA 1. Tramo de río trezado. Indicadores de nivel de bankfull: vegetación permanente en isla, cambio de pendiente en orilla derecha, llanura de inundación en orilla derecha y diferentes tamaños de sedimentos depositados.

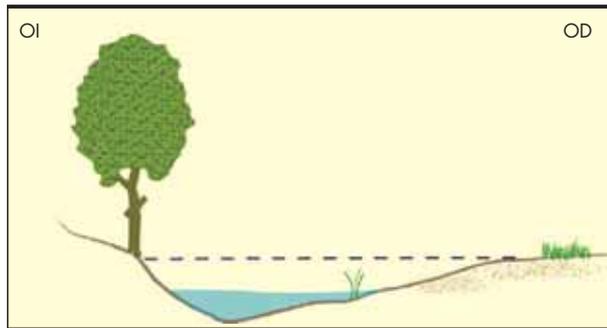
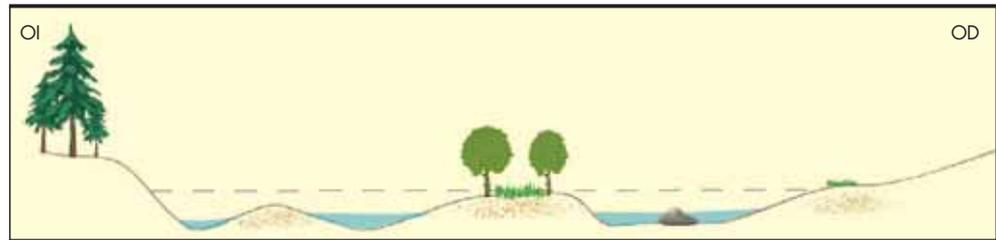


FIGURA 2. Tramo en curva con presencia de barra de punta (point bar). Indicadores de nivel de bankfull: parte superior de la barra, presencia de vegetación estable coincidente con el nivel de la línea de árboles y diferentes materiales del lecho.

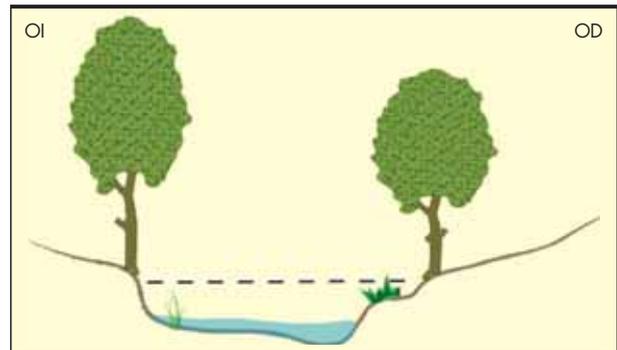


FIGURA 3. Sección en tramo recto. Indicadores del nivel de bankfull: presencia de vegetación estable en ambas orillas, diferenciándose de la zona de especies anuales en la orilla derecha.

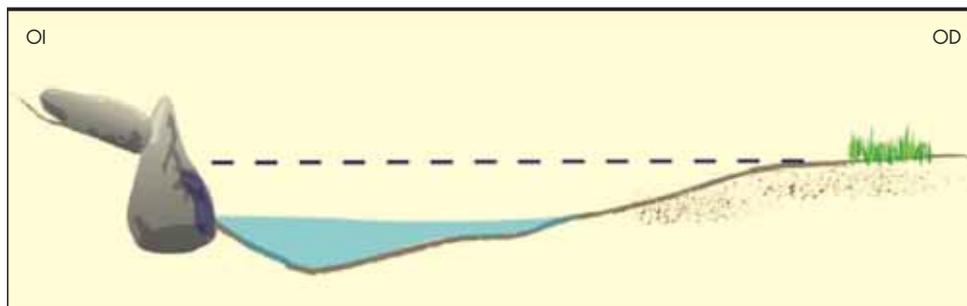


FIGURA 4. Sección en tramo recto con controles rocosos. Indicadores del nivel de bankfull: presencia de coloración de los controles rocosos de la orilla izquierda debidos a las avenidas de recurrencia menor que el caudal de bankfull, por lo que el nivel de bankfull se sitúa ligeramente por encima de esta; llanura de inundación en la orilla derecha con diferentes materiales depositados.

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Más del 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 70 y un 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Menos de un 30% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono
Puntuación: 5	Puntuación: 4	Puntuación: 3	Puntuación: 2	Puntuación: 1

TABLA 2.

($20w_b$) atiende a la recomendación de la literatura especializada (Parasiewicz, 2001), y de las pruebas realizadas en el diseño del índice RFV.

2.3. CONTINUIDAD LONGITUDINAL DEL BOSQUE DE RIBERA

Sobre un transecto de una longitud de 10-14 veces la anchura de bankfull del río (con objeto de registrar la continuidad del bosque a lo largo de un ciclo completo de curvatura del cauce y que acoja los diferentes mesohábitats presentes en él) se evalúa, de manera conjunta para ambas orillas, la continuidad longitudinal del bosque de ribera autóctono. Como bosque de ribera se entenderá la existencia de taxones arbóreos o arbustivos autóctonos, y no la presencia de taxones de herbáceas. El transecto señalado se basa en la recomendación de diferentes trabajos internacionales sobre el diseño de muestreos geomorfológicos (Rosgen, 1996). En el ámbito de las cuencas españolas, se considera un valor suficientemente amplio para asegurar la inclusión, en la aplicación del indicador, de los diferentes hábitats existentes en el tramo del río estudiado.

La existencia de taxones alóctonos se considerará una discontinuidad del bosque ripario, y deberá evaluarse como tal. No se considerará una discontinuidad la inexistencia de vegetación riparia como consecuencia de un sustrato rocoso en las riberas, o la presencia de afluentes o canales secundarios en el cauce. La continuidad de la vegetación riparia se evaluará sobre la línea perimetral de bankfull (en proyección vertical), en ambas márgenes del cauce.

Una vez analizada la continuidad longitudinal, este primer bloque se puntuará como indica la tabla 2.

2.4. CONTINUIDAD TRANSVERSAL DEL BOSQUE DE RIBERA

A lo largo de 5-7 secciones separadas entre sí dos veces la anchura de bankfull del río, y ortogonales a la línea de vaguada (o thalweg) del río, se evalúa la continuidad transversal del bosque de ribera autóctono. Se considerará positivamente la vegetación compuesta por taxones arbóreos y arbustivos autóctonos. La continuidad de la vegetación riparia se evaluará a partir de la línea perimetral de bankfull (en proyección vertical), en ambas márgenes del cauce.

La longitud de las secciones será la equivalente al total de la anchura del bosque ripario, cuando éste conecte con la ve-

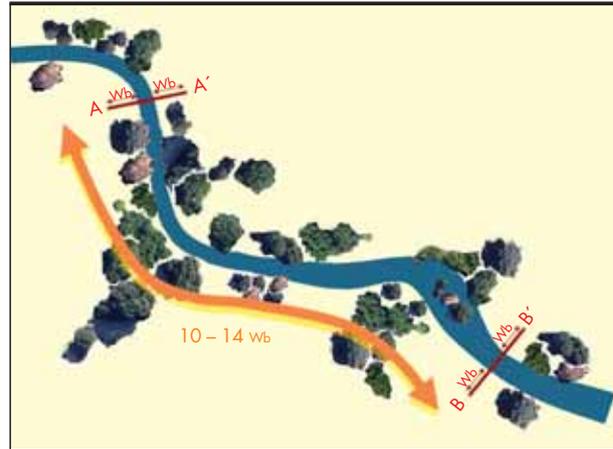


FIGURA 5. Superficie de análisis en la aplicación del índice RFV.

getación climatófila adyacente, o bien el bosque ripario se desarrolle en la anchura máxima permitida por el valle fluvial. En caso contrario la longitud de las secciones será de 1 vez la anchura de bankfull, en cada orilla del río (tres veces la anchura de bankfull en total, incluyendo la anchura del propio cauce), con objeto de realizar el análisis en la zona de mayor conectividad del cauce y sus márgenes (Richter & Richter, 2000). La anchura de estas secciones podrá ampliarse o reducirse, de manera justificada, cuando así lo aconsejen las características morfológicas del cauce, en especial la pendiente, el ratio de encajonamiento y el caudal dominante en el río.

Como discontinuidades transversales se entenderán la falta de cobertura vegetal de taxones leñosos autóctonos o de macrófitas autóctonas, la existencia de taxones alóctonos, o la existencia de usos del suelo de carácter antrópico (infraestructuras de cualquier tipo y material, cultivos, plantaciones, construcciones, etc.).

Una vez analizada la continuidad transversal, este segundo bloque se puntuará como muestra la tabla 3.

El valor final del parámetro se calculará como el promedio total de los valores de ambas márgenes, en cada una de las secciones establecidas. (Ver apartado 3. Ejemplos de aplicación).

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Más del 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 70 y un 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Menos de un 30% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono
Puntuación: 5	Puntuación: 4	Puntuación: 3	Puntuación: 2	Puntuación: 1

TABLA 3.

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Bosques muy densos de especies autóctonas, con sotobosque formado por diferentes especies arbustivas, y presencia de especies lianoides, nemorales y epífitas	Bosques densos de especies autóctonas, con sotobosque formado por pocas especies arbustivas, escasez de especies lianoides, nemorales y epífitas. Presencia puntual de algunas especies nitrófilas y ruderales, o de algunas especies alóctonas	Bosques claros de especies autóctonas y alóctonas, con escaso sotobosque, y presencia notoria de especies nitrófilas y ruderales	Bosques muy claros con abundancia de especies alóctonas, nitrófilas y ruderales, sin apenas sotobosque	Pies aislados, en su mayor parte de especies alóctonas. Dominancia de especies nitrófilas y ruderales.
Puntuación: 5	Puntuación: 4	Puntuación: 3	Puntuación: 2	Puntuación: 1

TABLA 4.

2.5. COMPLEJIDAD DEL BOSQUE RIPARIO

Sobre las secciones descritas en el apartado 2.4, se evalúa la complejidad ecológica del bosque ripario, en términos de composición y estructura de la vegetación. Este tercer bloque se puntuará de la manera mostrada en la tabla 4.

No se considerará negativamente una menor densidad de la vegetación en bosques claros cuyas condiciones naturales o de referencia sean las de un bosque discontinuo.

El valor final del parámetro se calculará como el promedio total de los valores de ambas márgenes, en cada una de las secciones establecidas. Cuando la puntuación contenga decimales, el valor final se ajustará al entero más próximo. Si el valor final tiene como decimal el guarismo 5, se ajustará al entero inferior. Así, un valor final de 3,7 equivaldría a un estado bueno (4), y un valor final de 3,5 equivaldría a un estado moderado (3).

2.6. REGENERACIÓN DEL BOSQUE RIPARIO

Sobre un transecto de una longitud de 10-14 veces la anchura de bankfull del río, se evalúa la regeneración del bosque ripario. Para ello, se estudia la existencia de brinzales, retoños y renuevos de la vegetación riparia autóctona del cauce, en ambas orillas.

No se puntuará negativamente la inexistencia de regenerado del bosque ripario debido a la falta de luz, por competencia con los ejemplares adultos, o por la existencia de un sustrato rocoso.

Este cuarto bloque se puntuará de la manera mostrada en la tabla 5.

Por abundancia de regenerado se entenderá la observación, de visu, de un número elevado de ejemplares jóvenes de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas.

Por presencia de regenerado se entenderá la observación de diferentes ejemplares jóvenes de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas.

Por presencia puntual de regenerado se entenderá la observación de ejemplares jóvenes aislados de especies arbóreas y arbustivas autóctonas, a lo largo del transecto y en ambas orillas.

2.7. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO DEL BOSQUE DE RIBERA

La valoración final del bosque de ribera se realizará atendiendo, como se ha dicho con anterioridad, a la agregación directa de los valores cuantitativos obtenidos para cada bloque. El estado final del bosque de ribera se clasificará mediante un código de colores asociado a los EQR (*Ecological Quality Ratios*) utilizados en la Directiva Marco del Agua y en sus documentos de desarrollo, cada uno de los cuales tendrá una calificación (Muy bueno, Bueno, Moderado, Deficiente, Malo),

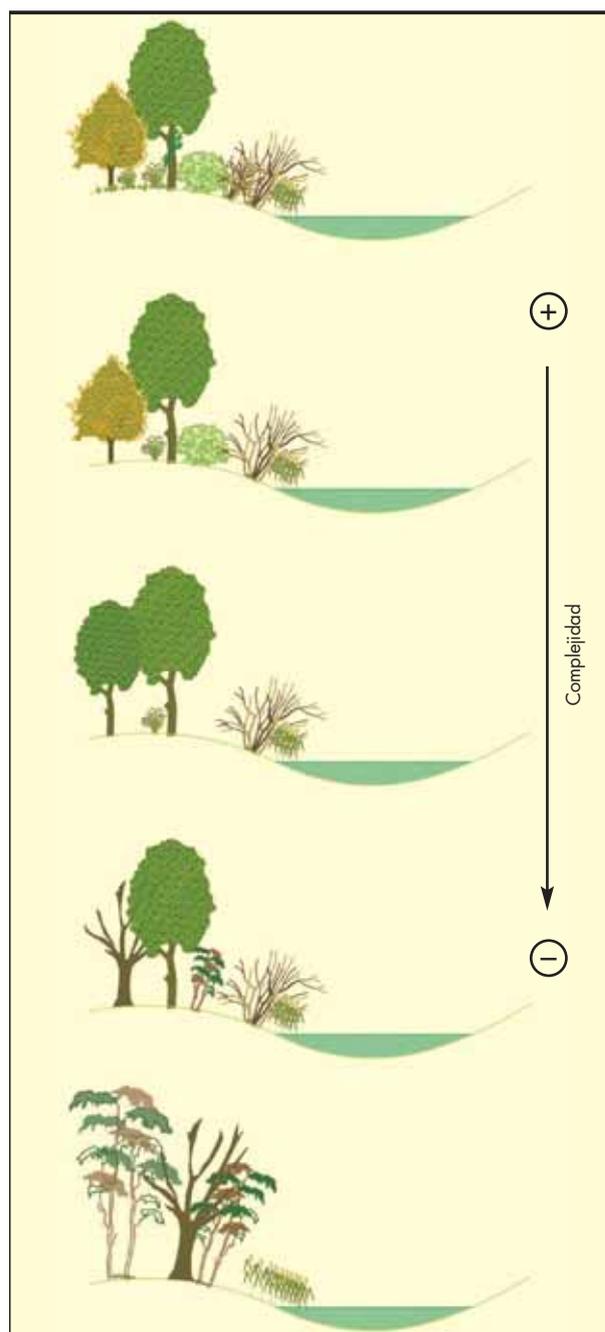


FIGURA 6. Valoración de la complejidad (conectividad vertical) del bosque de ribera, de mayor a menor grado de calidad.

ÍNDICE RFV PARA LA VALORACIÓN DEL ESTADO DEL BOSQUE DE RIBERA

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Abundancia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	Presencia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	Presencia puntual de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas	Inexistencia de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas.	Sólo existen pies extramaduros y con problemas fitopatológicos.
Puntuación: 5	Puntuación: 4	Puntuación: 3	Puntuación: 2	Puntuación: 1

TABLA 5.

Estado	Color
Muy bueno – el bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal casi total, su regeneración está asegurada y su composición y estructura atienden a las características de un bosque de gran valor ecológico.	Azul
Bueno – el bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal elevada, presenta regeneración, y su composición y estructura muestran un notable valor ecológico	Verde
Moderado – el bosque de ribera presenta una cierta alteración de la continuidad longitudinal y transversal, su regenerado es escaso, o bien su composición y estructura responden a una cierta antropización.	Amarillo
Pobre – el bosque de ribera cuenta con una apreciable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el regenerado es prácticamente inexistente, o bien la composición y estructura muestran evidentes signos de artificialidad.	Naranja
Malo – el bosque de ribera presenta una notable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el bosque no tiene regeneración natural, o bien su composición y estructura evidencian una falta completa de valor ecológico.	Rojo

TABLA 6. Código cualitativo para la determinación del estado final del bosque de ribera a partir del índice RFV.

vinculada a la calidad de su continuidad longitudinal, transversal, vertical y temporal (tabla 6).

La determinación del estado final del bosque ripario se realizará a partir de la puntuación numérica obtenida tras la agregación de los indicadores parciales (columna 1 de la tabla 7). En algunos casos, en los que la puntuación se encuentra asociada a dos posibles estados, la identificación final se llevará a cabo considerando las puntuaciones parciales de cada indicador, como se puede observar en la siguiente tabla de asignaciones. En este último caso, el código de valores obtenido por cada parámetro es independiente del orden de los parámetros.

Sirva como ejemplo para la valoración final, el que un bosque de ribera hubiera obtenido una puntuación de 17 tras la agregación del valor de sus diferentes parámetros (continuidad longitudinal = 5, continuidad transversal = 5, continuidad vertical = 2, continuidad temporal = 5). En este caso, como se observa en la tabla, podría identificarse como de estado bueno o moderado, en función de las puntuaciones parciales obtenidas por sus indicadores. Al haber obtenido la combinación 5525, equivalente a 5552, se concluye que el bosque estudiado se encuentra en estado moderado (color amarillo).

El índice RFV se centra en la evaluación de la integridad ecológica del bosque ripario, y no es por tanto, de forma directa, un índice de calidad de la zona ribereña del río. La interacción de las alteraciones hidrogeomorfológicas del cauce con el estado del bosque ripario se encuentran, sin embargo, intrínsecamente incluidas en los diferentes descriptores empleados para la valoración.

El índice RFV no emplea valoraciones basadas en anchuras fijas de las diferentes dimensiones del bosque, sino que re-

Suma	Código	
20		
19		
18		
17	5444	5552 – 5543
16	4444	5533
15		
14	4433	5432
13	4333	5422 – 5332 – 4432
12	3333	5322 – 4422 – 4332 – 5421
11	4322 – 3332	5411 – 4421
10	3322	4411 – 4321 – 3331
9	3222	4311 – 3321
8	2222	3311 – 3221
7	3211 – 2221	
6	2211	
5	2111	
4	1111	

TABLA 7. Código de asignación del valor final del índice RFV a partir de la puntuación de los cuatro indicadores parciales (el código de asignación es independiente del orden de los indicadores).



FIGURA 7. Selección del tramo de estudio con el índice RFV.

aliza la evaluación a partir de la anchura de bankfull del río. Por tanto, se trata de un índice adaptado a los diferentes tipos de cauces y valles fluviales. La anchura de bankfull del río está reconocida, en la literatura especializada, como la variable que mejor recoge las características hidrogeomorfológicas de un río. Por esta razón, se ha decidido su utilización como valor de base para realizar los transectos de valoración del estado del bosque de ribera.

3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE RFV

3.1. EJEMPLO 1

A continuación se expone, de manera metódica, el procedimiento que ha de seguirse para la obtención del RFV.

A través del ejemplo que se muestra a continuación se procede a la valoración de cada uno de los indicadores que contribuyen a la evaluación del estado del bosque de ribera.

1. Tramo de estudio (fig. 7): si se quiere valorar un tramo extenso con tan sólo un punto de muestreo, la elección de la zona de estudio es de vital importancia. Por ello, se re-

quiere que este tramo sea lo más representativo posible del río que se quiere evaluar. Por tanto, se debe evitar la selección de singularidades y elementos que no sean los que caracterizan el tramo. Es conveniente la observación previa de la fotografía aérea y realizar un recorrido del tramo con detalle. Mediante el uso de tecnología LiDAR, como se comenta en el apartado 4, es posible evaluar el RFV en cuasi-continuo, discretizando el valor del índice para el número de longitudes de bankfull que se le indique al programa.

2. Una vez en campo y una vez seleccionada la zona aproximada de estudio, procedemos a la delimitación del tramo a evaluar (fig.8) en base a las indicaciones dadas en el índice. Para ello, determinamos la anchura de bankfull promedio de la zona que queremos estudiar. En nuestro caso esta anchura promedio son 6 metros, por lo que la longitud aproximada para la evaluación de los diferentes indicadores corresponderá a unas 10 veces esta anchura, es decir, 60 metros.
3. Valoración de la continuidad longitudinal a lo largo de las líneas perimetrales del bankfull en ambas orillas (fig. 9).

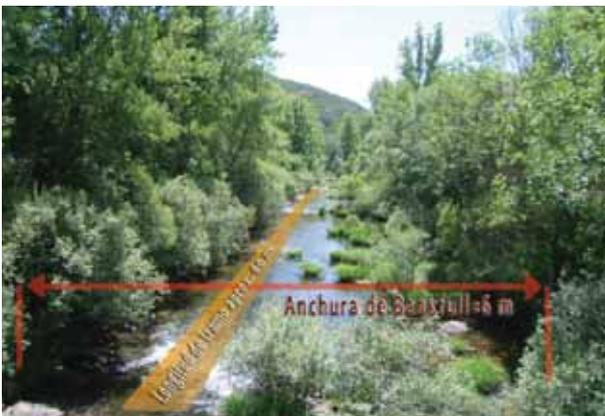


FIGURA 8. Delimitación del tramo a partir de la anchura media de bankfull.



FIGURA 9. Valoración de la continuidad longitudinal del bosque, en ambas márgenes del tramo de estudio.

ÍNDICE RFV PARA LA VALORACIÓN DEL ESTADO DEL BOSQUE DE RIBERA

Orilla izquierda con 100% de continuidad	Orilla derecha con 95% de continuidad	Más del 90% de la longitud de la primera banda de vegetación de ribera está cubierta	Estado excelente Puntuación 5
El tramo en su conjunto presenta una continuidad del 97,5%			

TABLA 8.

4. Valoración de la continuidad transversal a partir de las secciones correspondientes. Se recomienda que las secciones estén separadas unas 2 veces la anchura promedio de bankfull, en este caso están separadas unos 10 metros, por lo que tenemos un total de 6 secciones. La continuidad transversal se evalúa en las bandas marcadas en color rojo, correspondiente a una anchura de bankfull para cada orilla (fig.10).

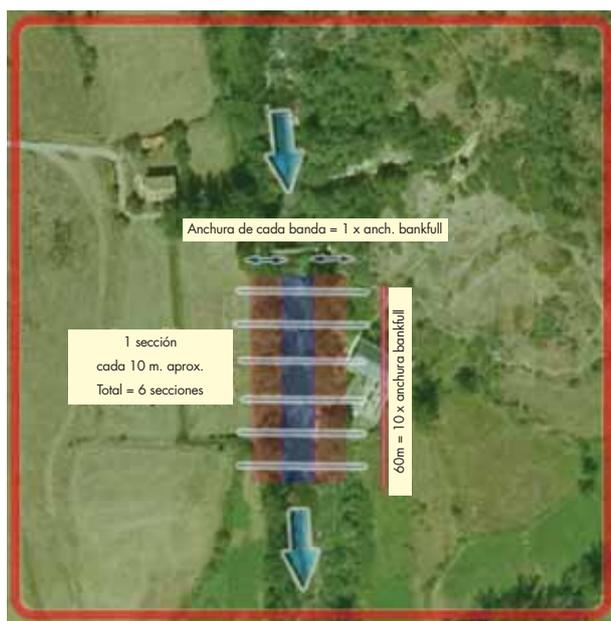


FIGURA 10. Valoración de la continuidad transversal, en ambas márgenes del tramo de estudio.

Sección	Cobertura orilla izquierda	Cobertura orilla derecha	Total cobertura (%)
1	80	95	90
2	70	70	70
3	100	90	95
4	100	100	100
5	95	100	97,5
6	90	100	95
		Total	91,25
Más del 90% de la longitud de las secciones cubierta por bosque de ribera autóctono			Estado excelente Puntuación 5

TABLA 9. Valoración de la continuidad transversal.

5. Valoración de complejidad (fig.11). Tras la observación de cada una de las secciones en cada una de sus orillas, se valora cada sección por separado, para posteriormente valorar de manera global el tramo.



FIGURA 11. Valoración de la complejidad. Detalle del tramo.

Sección	Valoración aproximada en orilla izquierda	Valoración aproximada en orilla derecha	Puntuación	
1	4	4	4	4
2	3	4	3,5	3
3	4	4	4	4
4	4	5	4,5	4
5	4	4	4	4
6	3	5	4	4
Bosque denso autóctono con pocas arbustivas y escasez de lianoides...			Estado bueno Puntuación (3,8) → 4	

TABLA 10. Valoración de la complejidad.

6. Regeneración del bosque. Tras la observación del tramo se valora, según los criterios marcados, el regenerado del bosque ripario.

Presencia puntual de ejemplares jóvenes, condicionada por cierta actividad ganadera	Estado moderado Puntuación 3
---	---

TABLA 11. Valoración de la regeneración.

ÍNDICE RFV PARA LA VALORACIÓN DEL ESTADO DEL BOSQUE DE RIBERA

	Código				Suma
Puntuaciones ordenadas según su valor de los diferentes indicadores	5	5	4	3	17
	Cont. Longitud.	Cont. Transversal	Cont. Vertical (Complejidad)	Cont. Temporal (Regeneración)	
Un valor suma de 17 y código 5543. Bosque con valores de continuidad espacial aceptables, pero con carencias relacionadas con su continuidad temporal			Estado moderado		

TABLA 12. Valoración final.



FIGURA 12. Fotografías de la zona de estudio.

7. Valoración final. Para la valoración se debe tener en cuenta la suma de cada uno de los indicadores antes señalados, y si procede, seleccionar la valoración final del índice en función de la distribución de los indicadores ordenados de mayor a menor (tal y como se recoge en la tabla 2) y no por orden de indicador calculado, constituyendo el código que sirve para diferenciar entre dos estados con una misma suma global de indicadores.

3.2. EJEMPLO 2

A continuación se expone un ejemplo de vegetación de ribera mal conservada valorada mediante el índice RFV (tabla 13). Se muestran fotografías *in situ* y aérea de la zona de estudio (fig. 12, 13).



FIGURA 13. Fotografía aérea de la zona de estudio.

Indicador	Puntuación		Valoración final
Continuidad longitudinal	1	Menos de un 30%	Suma = 4
Continuidad transversal	1	Menos de un 30%	Código = 1 1 1 1
Complejidad	1	Pies aislados	El bosque presenta notable falta de continuidad espacial y temporal
Regeneración	1	Sólo pies maduros	

TABLA 13.

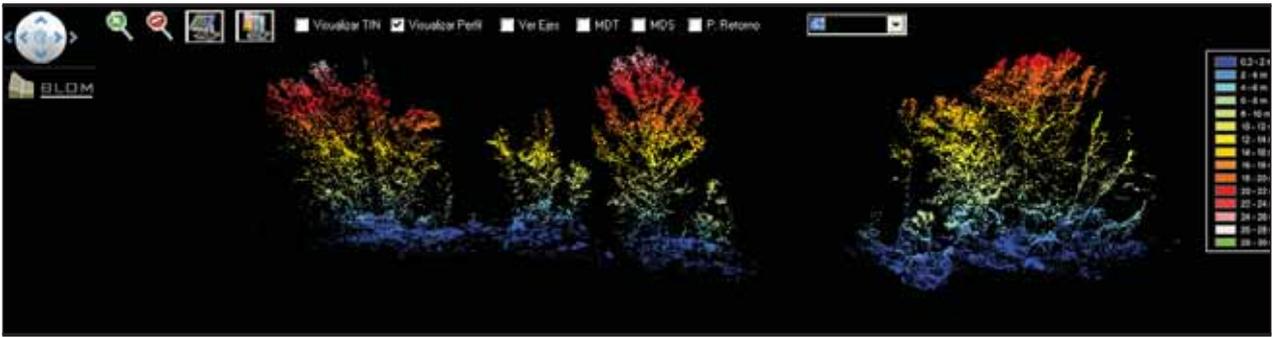


FIGURA 14. Datos LiDAR de alta densidad en un cauce con vegetación de ribera.

4. DESARROLLO DEL ÍNDICE RFV A PARTIR DE DATOS LIDAR. APLICACIÓN RIC-DAR (RIPARIAN CHARACTERIZATION BY LIDAR)

En paralelo al desarrollo conceptual del índice RFV se ha generado, con el apoyo de la empresa BLOM, una aplicación informática capaz, entre otras posibilidades, de valorar de modo cuasi-continuo el estado del bosque ripario mediante el índice RFV.

Para ello se sirve de los datos de un vuelo LiDAR (Light Detection and Ranging) y las imágenes del vuelo aéreo obtenidas en ese mismo vuelo. Es conveniente que los datos LiDAR sean de alta densidad, como los que pueden obtenerse mediante helicóptero (fig. 14).

De este modo podemos obtener a lo largo de un tramo de río, por ejemplo de 5 km, diferentes valores del índice discretizados según la distancia que le indiquemos o dependiendo de

la anchura de bankfull. Siguiendo con el ejemplo, si la anchura fuera 10 metros podríamos obtener valores del índice cada $10 \text{ m} \times 12 = 120 \text{ m}$.

De manera sucinta podemos decir que RiC-DAR obtiene los valores de la siguiente manera:

- Continuidad longitudinal: calcula en la distancia indicada la continuidad de bosque de ribera junto al cauce (primera línea), incluso llegando a diferenciar estratos. Este proceso es semi-automático. Finalmente calcula el porcentaje de continuidad y da un valor a cada tramo discreto del río (fig. 15).
- Continuidad transversal: calcula secciones transversales según se le indique evaluando la cobertura en cada una de ellas, es un proceso semi-automático. Finalmente calcula el porcentaje de cobertura y da un valor a cada tramo discreto del río (fig. 16).

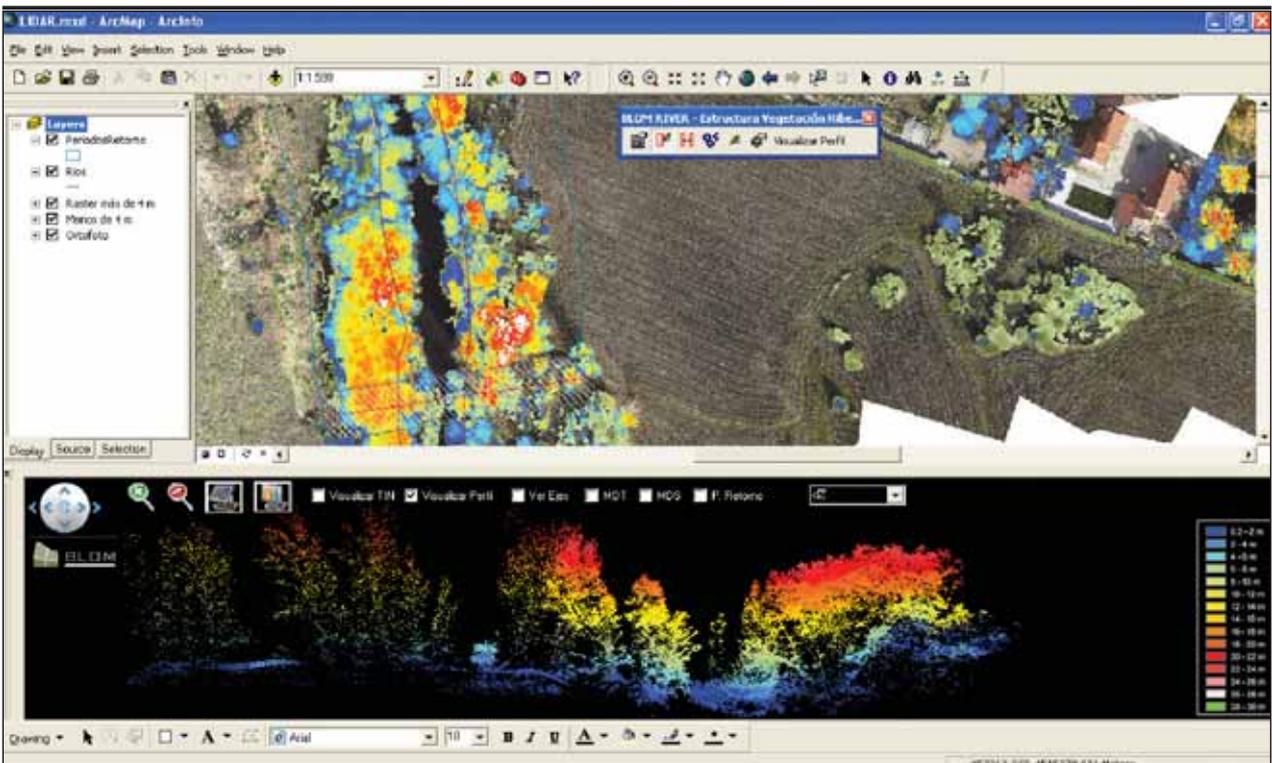


FIGURA 15. Visualización de datos con RiC-DAR.

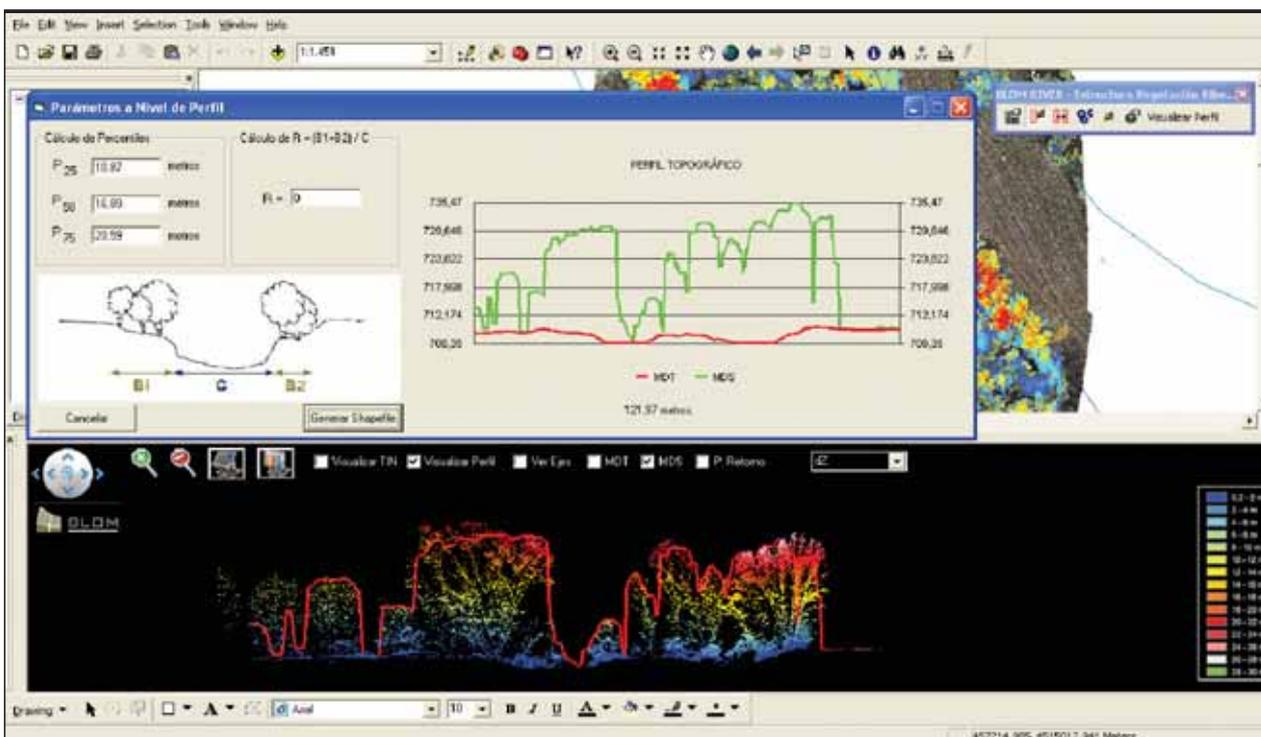


FIGURA 16. Valoración de la continuidad transversal.

- Complejidad: muestra en pantalla la sección evaluada, permitiendo visualizarla según indique el usuario para proceder a su valoración. Es por tanto un proceso semi-automático con supervisión.
- Regenerado: con el apoyo de visitas de campo, conocimiento de la zona, fotografía aérea y los datos LiDAR (necesariamente de alta densidad) se procede a su evaluación. Es por tanto un proceso prácticamente manual, convirtiéndose en el elemento más tedioso para su evaluación si no se cuenta con información de calidad.

Ventajas de RiC-DAR:

- Permite la valoración de tramos continuos de ríos con escaso apoyo de campo, evitando así el problema de asignación a un tramo de río del valor de un índice que ha sido calculado en un lugar representativo, pero concreto del río.
- La mayor parte del trabajo se realiza en gabinete, por lo que se ahorra en recursos y tiempo al reducirse el trabajo de campo.
- La información siempre la tenemos presente para revisión de manera continua a lo largo de todo el tramo.
- Se pueden comparar diferentes estados y características del tramo en el tiempo (con vuelos LiDAR realizados en diferentes fechas).
- Se pueden calcular otras variables fluviales asociadas a la vegetación de ribera.

Inconvenientes:

- Es preciso obtener datos LiDAR con densidad suficiente, preferiblemente volados con helicóptero, siendo más costosos que un vuelo ordinario.
- Aun siendo una aplicación optimizada para trabajar con datos LiDAR, el volumen de datos es elevado por lo que es preferible el uso de un equipo informático con recursos elevados, pero no limitante.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado a lo largo de este artículo un nuevo índice –RFV– para la evaluación del estado del bosque de ribera en ríos permanentes. Su diseño parte de la necesidad de contemplar un procedimiento de evaluación basado en la estructura y funcionamiento del bosque ripario.

Con este objeto, el índice RFV tiene en cuenta la conectividad longitudinal, transversal, vertical y temporal del bosque. Estos cuatro indicadores son evaluados a través de un código cuantitativo y cualitativo. La agregación de los indicadores resulta en el valor final del índice RFV.

La determinación de la zona de estudio del índice se realiza a partir de las dimensiones del cauce. Para ello, la longitud y anchura de las secciones y transectos se definen a través de la anchura de cauce lleno o anchura de bankfull, variable geomorfológica que responde de manera directa a los caudales dominantes en cada río, y que es, además, un buen indicador de la estructura y funcionamiento ecológicos del río. El índice debe aplicarse, por tanto, tras un pre-análisis de la anchura media de bankfull del tramo analizado, considerando, al tiempo, las singularidades hidromorfológicas del río.

El índice puede ser también calculado a partir de información LiDAR. Para ello, es necesario contar con datos LiDAR de elevada resolución. En el artículo se muestran los mecanismos de aplicación del índice a partir de estos datos, con los que se puede realizar una evaluación exhaustiva del estado de la vegetación riparia en largos tramos del río.

6. REFERENCIAS

- ACA – Agència Catalana de l'Aigua. 2006. *HIDRI – Protocolo para la valoración hidromorfológica de los ríos*. 62 pp.
- Bunn, S.E., Davies, P.M., Mosisch, T.D. 1999. Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology* 41: 333-345.

- Colwell, S.R. & Hix, D.M. 2008. Adaptation of the QBR index for use in riparian forests of central Ohio. In: Jacobs, D.F., Michler, C.H. *Proceedings of the 16th Central Hardwood Forest Conference*, West Lafayette, IN, pp. 331-340. USFS.
- Chovanec, A., Waringer, J., Straif, M., Graf, W., Reckendorfer, W., Waringer-Löschenkohl, A., Waidbacher, H., Schultz, H. 2005. The Floodplain Index – a new approach for assessing the ecological status of river/floodplain systems according to the EU Water Framework Directive. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 155/1-4: 169-185
- Ferreira, M.T., Rodríguez-González, P.M., Aguiar, F.C., Albuquerque, A. 2005. Assessing biotic integrity in Iberian rivers: Development of a multimetric plant index. *Ecological Indicators* 5(2): 137-149
- Gutiérrez, C., Salvat, A., Sabater, F. 2001. Índex per a l'avaluació de la qualitat del medi fluvial a partir de la vegetació de ribera, Índex IVF. Documents tècnics del Agència Catalana de l'Aigua.
- Innis, S.A., Naiman, R.J., Elliott, S.R. 2000. Indicators and assessment methods for measuring the ecological integrity of semi-aquatic terrestrial environments. *Hydrobiologia* 422: 111-131.
- Johansen, K., Phinn, S., Lowry, J., Douglas, M. 2008. Quantifying indicators of riparian condition in Australian tropical savannas: integrating high spatial resolution imagery and field survey data. *International Journal of Remote Sensing* 29 (23): 7003-7028
- López, R.D. & Fennessy, M.S. 2002. Testing the floristic quality assessment index as an indicator of wetland condition. *Ecological Applications* 12: 487-497.
- Mack, J.J. 2001. *Vegetation index of biotic integrity (VIBI) for wetlands: ecoregional, hydrogeomorphic, and plant community comparisons with preliminary wetland aquatic life use designations*. Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Waters, Wetland Ecology Group, Columbus, Ohio.
- Miller, S.J., Wardrop, D.H., Mahaney, W.M., Brooks, R.P. 2006. A plant-based Index of Biological Integrity (IBI) for headwater wetlands in central Pennsylvania. *Ecological Indicators* 6: 290-312.
- Munné, A., Solá, C., Prat, N. 1998. Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de riberas. *Tecnología del Agua* 175: 20-37
- Munné, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N., Rieradevell, M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: A QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147-163.
- Parasiewicz, P., 2001. Mesohabsim: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries* Vol. 26 n° 9.
- Pettit, N.E. 2002. Riparian vegetation of a permanent waterhole on Cooper Creek, southwest Queensland. *Proceedings of the Royal Society of Queensland* 11030: 15-25.
- Rankin, E.T. 1989. *The Qualitative Habitat Evaluation Index (QHEI): Rationale, Methods and Application*. State of Ohio – Environmental Protection Agency.
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H., Everard, M. 1998. Quality assessment using river habitat survey data. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 477-499.
- Richter, B.D & Richter, H.E. 2000. Prescribing Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems along Meandering Rivers. *Conservation Biology* 14(5): 1467-1478.
- Rosgen, D. 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado.
- Salinas, M.J., Blanca, G., Romero, A.T. 2000. Evaluating riparian vegetation in semi-arid Mediterranean water courses in the south-eastern Iberian Peninsula. *Environmental Conservation* 27(1): 24-35.