



Trabajo Fin de Grado

Ciencias Ambientales

Establecimiento de un índice de vulnerabilidad y de capacidad de carga del barranquismo aplicado al caso de estudio “Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara”

Establishment of a vulnerability and load capacity index for canyoning applied to the case study “Natural Park of Sierra y Cañones de Guara”

Autora

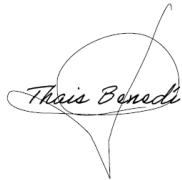
Thais Benedí Morales

Directora

Rocío López Flores

Declaración de autoría:

El Trabajo Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Thais Benedito". The signature is fluid and cursive, with a large, open loop on the left side.

Índice

RESUMEN	1
Palabras clave.....	1
ABSTRACT.....	2
Keywords	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivos	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
METODOLOGÍA	11
Análisis bibliográfico de los conceptos de índice de vulnerabilidad y capacidad de carga	11
Cálculo del índice de vulnerabilidad	11
Cálculo de la capacidad de carga del ecosistema	13
RESULTADOS	16
1. Búsqueda bibliográfica.....	16
2. Índice de vulnerabilidad	16
3. Capacidad de carga del ecosistema	23
DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES.....	41
AGRADECIMIENTOS.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS.....	47

RESUMEN

El barranquismo es un deporte ampliamente practicado en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (PNSCG). Sin embargo, una afluencia excesiva de barranquistas puede generar un impacto irreversible en estos ecosistemas. En este trabajo se calcula un índice de vulnerabilidad de los barrancos y la capacidad de carga del ecosistema frente al barranquismo en el PNSCG. Para ello se han analizado los datos de seguimiento disponibles sobre los barrancos de Guara entre 2018 y 2023.

En cuanto al índice de vulnerabilidad la gran mayoría de los barrancos se encuentran clasificados como preocupación alta o máxima. Se trataría de barrancos con alta diversidad y especies catalogadas, que están sometidos a un impacto importante. Respecto a la capacidad de carga del ecosistema, se ha establecido alrededor de 100 personas al día. En los barrancos más frecuentados, la capacidad de carga del ecosistema se ve superada, siendo en algunos casos la capacidad potencial del barranco 3 veces superior a la capacidad de carga de su ecosistema.

Estos resultados no sólo ponen de manifiesto la importancia de proteger y conservar los barrancos del PNSCG por su biodiversidad, sino también la importancia de que la legislación cuente con datos de base objetivos para establecer limitaciones realistas y ajustadas tanto al impacto que se está ejerciendo como a la capacidad del ecosistema de soportarlo.

PALABRAS CLAVE

Barranco, frecuentación, pisoteo, impacto, uso sostenible, deporte de aventura, ecosistemas acuáticos.

ABSTRACT

Canyoning is a sport widely practiced in the Natural Park of Sierra y Cañones de Guara (PNSCG). However, excessive influxes of canyoneers can cause irreversible impacts on these ecosystems. This study calculates a vulnerability index for the canyons and ecosystem's carrying capacity regarding canyoning in the PNSCG. To achieve this, available monitoring data on the Guara canyons between 2018 and 2023 has been analyzed.

Regarding the vulnerability index, the vast majority of the canyons are classified as high or maximum concern. These are canyons with high biodiversity and listed species, which are subject to significant impact. As for the ecosystem's carrying capacity, it has been set at around 100 people per day. In the most frequently visited canyons, the ecosystem's carrying capacity is exceeded, with in some cases the canyon's potential capacity being three times greater than the carrying capacity of its ecosystem.

These outcomes underscore not only the importance of protecting and conserving these canyons of the PNSCG due to their biodiversity but also emphasize the importance of legislation having objective baseline data to establish realistic and appropriate limitations, both in terms of the impact being exerted and the ecosystem's ability to withstand it.

KEYWORDS

Canyon, frequency, trampling, impact, sustainable use, adventure sport, aquatic ecosystem.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos son esenciales tanto para los ecosistemas como para la sociedad. No solo son fundamentales para la diversidad, ya que albergan una amplia variedad de especies, sino que también desempeñan un papel crucial en la regulación del ciclo del agua. Además, ofrecen recursos esenciales para la supervivencia y calidad de la vida humana (Carpenter et al., 1992). En la Tierra solo el 0,8% de su superficie la cubren los ecosistemas de agua dulce, pero estos albergan más del 10% de todas las especies animales del planeta (Stendera et al. 2012).

Los barrancos son profundos desfiladeros en la roca, formados por la acción erosiva de los arroyos, esta crea estrechos pasajes llenos de agua rodeados por paredes de roca escarpada. El barranquismo es, actualmente, un deporte de aventura muy practicado que consiste en el descenso de barrancos utilizando distintas técnicas, como natación, escalada de rocas, rapel o senderismo (Hardiman y Burgin, 2003).

El Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara (PNSCG) ofrece unas condiciones óptimas para su práctica, de hecho se considera uno de los hotspots para la práctica del barranquismo en Europa. Los cañones de Guara se han ido formando durante miles de años por la erosión del agua, dando lugar a un paisaje caracterizado por estrechos y profundos barrancos, con aguas cristalinas y formaciones rocosas únicas (Red Natural de Aragón, 2021). Además, es una zona que cuenta con una gran variedad de barrancos, lo que lleva a que un gran número de personas realicen esta actividad, sobre todo en los meses de primavera y verano. Dentro del PNSCG se contabilizan más de sesenta cauces fluviales aptos para el barranquismo (Lacosta, 2002).

Los barrancos son ecosistemas muy importantes, ya que son el hábitat de comunidades acuáticas, y, además, debido a sus características albergan especies de flora y fauna endémicas. En ellos se encuentran especies adaptadas a condiciones de baja luz, distintos tipos de sustratos y procesos de erosión y deposición de materiales (Baigorri, 2020). Debido a su patrón hidrológico y situación biogeográfica, las comunidades acuáticas de los barrancos del PNSCG están adaptadas a condiciones cambiantes. Estas comunidades se ven influenciadas por un régimen de inundaciones y períodos de sequía, característicos de los sistemas kársticos y del clima de transición entre las influencias atlántica y mediterránea continental. En los barrancos suele haber coberturas importantes de *Chara* sp. (Perez, 2018).

En el PNSCG se encuentra el hábitat 7220, manantiales petrificantes con formación de tuf (Cratoneurion), que comprende fuentes, manantiales y roquedos rezumantes donde el agua rica en carbonatos da lugar a precipitaciones de calcio,

formando depósitos de toba. En el Parque las tobas calcáreas se encuentran principalmente en áreas cercanas a los cursos de agua y manantiales. Este es un tipo de ecosistema relevante por su valor ecológico, ya que alberga flora y fauna especializadas en ambientes húmedos y calcáreos (Gobierno de Aragón, 2011).

Los manantiales y zonas de tobas en Guara enriquecen la biodiversidad local y contienen especies endémicas, de interés para la conservación. Estas zonas requieren condiciones específicas para prosperar y son vulnerables a alteraciones en el régimen hídrico o a la contaminación de las aguas. Esta área acoge diversas plantas acuáticas y de ribera, incluyendo especies de musgos y hepáticas, que se desarrollan en las zonas de tobas. Entre las especies características de ambientes húmedos destaca el helecho *Adiantum capillus-veneris*, una planta que crece en áreas de filtración de agua y se adapta bien a entornos frescos y húmedos. La protección de este hábitat resulta fundamental para mantener los ecosistemas únicos de esta zona (Red Natural de Aragón, 2021).

Como explican Hardiman y Burgin (2003), los barrancos, generalmente, se consideran ecosistemas frágiles, y, aunque los visitantes puedan desarrollar una mayor apreciación por los lugares que visitan, su presencia física puede resultar en un impacto ecológico, por lo que el barranquismo plantea un potencial significativo de impactos dañinos. Por tanto, es muy importante preservarlos y llevar a cabo actividades de ocio sostenibles para intentar generar el menor impacto en ellos. El barranquismo es una actividad económica importante para la zona, pero hay que tener en cuenta que los barrancos necesitan un tiempo de recuperación para volver a unas condiciones ecológicas favorables. Debido a esto, es imprescindible contar con herramientas objetivas que permitan una gestión que tenga como objetivo la compatibilidad de ambos usos, el turístico y la conservación del espacio.

A pesar de que no existen demasiados estudios sobre el impacto del barranquismo en la calidad ecológica de los ríos, el PNSCG es una de las zonas donde más estudios se han llevado a cabo.

Baigorri (2020), en su trabajo, señala que, en el río Formiga a pesar de la capacidad de recuperación de la fauna macroinvertebrada, los impactos del barranquismo tienden a acumularse año tras año. Otra tendencia que también observa es la pérdida de la calidad del agua, debido a que el índice de calidad ecológica IBMWP ha ido disminuyendo su valor entre el año 2013 y el 2018.

Gimeno (2020), en su estudio del río Mascún, afirma que tanto el estado ecológico del agua como los índices de diversidad y de equitatividad sufrieron un descenso de sus valores tras la temporada de barranquismo. Además, observó una disminución de la biomasa de perifiton, lo que tuvo consecuencias sobre las estrategias

dominantes en la comunidad de macroinvertebrados, ya que tras la temporada de barranquismo no había presencia de depredadores. Por último, hace una comparación entre los ríos Mascún, Formiga y Peonera, este último de mayor tamaño y caudal, donde afirma que las características hidrogeomorfológicas, tanto a nivel local como en la escala de la cuenca, influyen de manera significativa en la intensidad del impacto del pisoteo de los barranquistas sobre las comunidades bentónicas.

Como señala Pérez (2018) en su trabajo realizado en el río Alcanadre, concretamente sobre la Peonera, señala la existencia de una disminución en la concentración de clorofila-a tras el pisoteo continuado, aunque esta vuelve a los niveles de control 30 días después de finalizar el impacto. También indica que la fauna bentónica se encuentra adaptada a las perturbaciones físicas de origen natural, lo que facilita una recuperación rápida tras una perturbación antrópica de tipo mecánico, como el barranquismo. En este caso, el menor impacto observado estaría asociado a las características morfológicas del cauce, ya que este es más ancho que el de otros ríos del PNSCG.

Por lo que se puede ver en los trabajos previos, se demuestra que el barranquismo produce un impacto negativo en los barrancos del PNSCG, por lo que es importante conciliar la práctica de este deporte y la conservación de la naturaleza.

El PNSCG es un territorio con dificultades para el desarrollo económico, debido a que, las características del medio físico limitan el desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas y forestales. Esta situación ha provocado una disminución de actividades rurales con el consiguiente deterioro de los núcleos urbanos (Gobierno de Aragón, 2024). El PNSCG se puede clasificar como un “desierto demográfico”, ya que según la definición actual se considera como tal una zona con menos de 10 hab/km². Es por esto por lo que los deportes de aventura, incluido el barranquismo, son actividad económica importante en las zonas donde se desarrollan, que generalmente se suelen llevar a cabo en demarcaciones remotas y con una población bastante reducida. Las principales actividades turísticas que se realizan en Guara incluyen el senderismo y montañismo, el barranquismo, el turismo naturalista y ornitológico, la escalada, la caza y pesca, la espeleología y el turismo cultural (Aniés, 2011). La expansión de estas actividades ha hecho que se establezcan numerosas empresas de aventura, lo que ha contribuido a una leve recuperación demográfica en los municipios más turísticos (Lacosta, 2002).

En cuanto al ámbito legal, se declaró el PNSCG por la Ley 14/1990, del 27 de diciembre del Gobierno de Aragón, en la que también se establecieron los límites territoriales del parque, incluyendo una zona periférica de protección (Gobierno de Aragón, 2024).

La primera medida que se adoptó para acotar los usos turísticos y deportivos permitidos en el interior del Parque fue el Decreto 133/1996, de 11 de julio, del Gobierno de Aragón, para regular la práctica del barranquismo (Lacosta, 2002).

Posteriormente, se aprobó el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) por el Decreto 164/1997, de 23 de septiembre, del Gobierno de Aragón, siendo con posterioridad modificado por el Decreto 263/2001, de 23 de octubre, del Gobierno de Aragón, y siendo nuevamente modificado por el Decreto 12/2024, de 30 de enero, del Gobierno de Aragón. Este es un instrumento de planificación, cuya finalidad es proteger, conservar y restaurar los recursos naturales y la biodiversidad de una zona específica, mediante el establecimiento de directrices y normativas para el uso sostenible de los recursos naturales (Gobierno de Aragón, 2024).

Por último, el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) fue aprobado por el Decreto 204/2014, de 2 de diciembre, del Gobierno de Aragón. Este es un instrumento de gestión destinado a regular el uso y manejo de los espacios naturales protegidos (Gobierno de Aragón, 2024).

El barranquismo en el PNSCG se encuentra regulado por el PORN y el PRUG. En ellos se determina que el intervalo mínimo de entrada en los barrancos entre grupos será de 10 minutos, además del tamaño de grupo permitido (sin contar al guía), las fechas en las que no se puede realizar esta actividad y el material obligatorio, especificados en la siguiente figura (Red Natural de Aragón, 2023).

Número Number Numéro	Barranco (tramo) Canyon (section) Canyon (section)	Fechas prohibidas ⁽¹⁾ Prohibited dates ⁽¹⁾ Dates interdites ⁽¹⁾	Tamaño grupo ⁽³⁾ Group size ⁽³⁾ Taille de groupe ⁽³⁾	Material obligatorio ⁽⁴⁾ Mandatory equipment ⁽⁴⁾ Matériel obligatoire ⁽⁴⁾
0				
1	Palomeras del Flumen	Del 15/II al 30/VI ⁽²⁾	8	A+N
2	San Martín de la Bal d'Onsera (primer tramo hasta 100 metros aguas abajo de la Ermita de San Martín)	Todo el año	-	-
2	San Martín de la Bal d'Onsera (tras los 100 primeros metros bajo la Ermita de San Martín)	-	8	A
3	Piedra Foratata	Del 1/XII al 30/VI	8	A
4	San Chinés	Del 1/XII al 30/VI	8	A
5	Escomentué	Del 1/XII al 30/VI	8	A
6	Lazas	Del 1/XII al 30/VI	8	A
7	Canal del Palomo (5)	-	8	A
8	Isarre	Del 1/XII al 30/VI	8	A
9	Del Diablo o del Rincón de Lazas	Del 1/XII al 30/VI ⁽²⁾	8	A
10	Las Cuevas de la Reina (Peña de San Cosme)	Todo el año	-	-
11	La Canaleta (Peña de San Cosme)	Todo el año	-	-
12	Formiga (aguas arriba de su confluencia con el Yara)	Del 1/XII al 30/VI	8	A+N
13	Formiga	-	8	A+N
14	Yara (hasta su confluencia con el Formiga)	-	8	A+N
15	Gorgonchón	-	4	A+N
16	Gorgas Negras	-	8	A+N
17	Barrasil	-	10	N
18	Barranco de Otín	Del 1/III al 30/VI ⁽²⁾	8	A
19	Mascún Superior	-	8	A+N
20	Peonera	-	10	A+N
21	Balcés Superior	-	10	N
22	Oscuros de Balcés	-	8	A+N
23	Estrechos de Balcés	-	10	N
24	La Choca	Todo el año ⁽²⁾	-	-
25	Vero	-	10	N
26	Fornocal	-	8	A+N

Figura 1: Regulación barranquismo en el PNSCG. Fuente: Red Natural de Aragón.

El PNSCG también cuenta con otras figuras de protección significativas (Gobierno de Aragón, 2024):

- Parque Cultural del Río Vero
- Zona de Especial Conservación (ZEC) Guara Norte
- ZEC Sierra y Cañones de Guara
- ZEC Silves
- Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de la Sierra y Cañones de Guara

Este trabajo va a tratar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 15, agua limpia y saneamiento y vida de ecosistemas terrestres, respectivamente.

En lo relacionado con el objetivo 6, de agua limpia y saneamiento, se encuentra asociado con la meta 6.6, que pretende proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

En cuanto al objetivo 15, vida de ecosistemas terrestres, se encuentra relacionado con varias metas, concretamente con la 15.1, 15.4, 15.5 y 15.9. Respecto a la meta 15.1 que vela por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales. También con la 15.4, que vela por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de mejorar su capacidad de proporcionar beneficios esenciales para el desarrollo sostenible. Asimismo, la meta 15.5 adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción. Por último, también tendría relación con la meta 15.9, ya que para 2020, pretende integrar los valores de los ecosistemas y la diversidad biológica en la planificación nacional y local, los procesos de desarrollo, las estrategias de reducción de la pobreza y la contabilidad.

OBJETIVOS

Por todo ello, el objetivo de este trabajo consiste en estimar el nivel de vulnerabilidad frente a las actividades de ocio de los barrancos del PNSCG, mediante el desarrollo de un índice de vulnerabilidad, y establecer la capacidad de carga de cada uno de ellos.

Para lograr este objetivo se ha buscado conseguir varios objetivos concretos:

- Se va a proponer un índice de vulnerabilidad y aplicarlo al caso de los barrancos del PNSCG.
- Se va a determinar la capacidad de carga de los barrancos más frecuentados.

Estas herramientas aportarán información para la gestión de este espacio natural. Además, los resultados son una herramienta aplicable en cualquier espacio protegido con características similares para poder aplicar y estimar ambos índices.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (PNSCG) se encuentra en la provincia de Huesca, situado en la parte central y más elevada de las Sierras Exteriores Pirenaicas, conocidas como Prepirineo. Cuenta con 47453 hectáreas de parque y 33286 hectáreas de Zona Periférica de Protección (ZPP), lo que lo convierte en el Espacio Natural Protegido de mayor extensión en la Red Natural de Aragón (Gobierno de Aragón, 2024).

Debido a su localización, entre las estepas del Ebro y los Pirineos, su clima es de transición, combina características atlánticas y mediterráneas, esta situación genera notable diferencia entre la vegetación de las vertientes norte y sur de este espacio natural, lo que ha dado lugar a la presencia de numerosas especies vegetales exclusivas de esta zona, entre ellas destacan la oreja de oso (*Ramonda myconi*) y la corona de rey (*Saxifraga longifolia*) (Red Natural de Aragón, 2021). En los barrancos, la especie más abundante es la higrófita Chara sp. (Baigorri, 2020).

En cuanto a la fauna, el grupo más destacado lo constituyen las aves rupícolas, dado que las paredes rocosas son un hábitat ideal para que grandes especies establezcan sus nidos. Entre ellas destacan el buitre leonado (*Gyps fulvus*), el águila real (*Aquila chrysaetos*) y el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) (Red Natural de Aragón, 2021). En lo que respecta a la fauna acuática o semiacuática, se encuentran diversos anfibios, como la rana verde (*Pelophyllax perezzi*) y el sapo común (*Bufo bufo*), destacando el tritón pirenaico (*Calotriton asper*). En cuanto a reptiles hay presencia de víbora áspid (*Vipera aspis*) y culebra de escalera (*Zamenis longissimus*). Respecto a las poblaciones de peces en los ríos del PNSCG se registran especies como la trucha común (*Salmo trutta farlo*), el barbo común (*Barbus graellsii*) y la madrilla (*Chondrostoma toxostoma*) (Baigorri, 2020).

Al poseer un clima de transición, se producen irregularidades climáticas, reflejadas en diferencias significativas en las precipitaciones anuales, que van de 700 a 1500 mm en las zonas sur y norte respectivamente, además, los valores mínimos de precipitaciones se encuentran en verano. La temperatura media anual es de 12º C, aunque los extremos pueden oscilar entre -14º C y 34º C (Herrero et al., 2005).

Su relieve es irregular, posee escasas zonas llanas y altitudes que varían entre los 430 y los 2077 m. En cuanto a la geología, está compuesta principalmente por calizas con alveolinas y numulites del Cretácico Superior (Herrero et al., 2005), mientras que en menor proporción se encuentran calizas del Eoceno y del Triásico, arcillas, areniscas del Oligoceno y margas del Eoceno Superior. Estos materiales han sido

alterados por la erosión fluvial, lo que ha dado lugar al relieve accidentado que observamos en la actualidad (Cuchí et al., 2010).

La red hidrológica está enmarcada en las cuencas hidrográficas de los ríos Alcanadre y Vero. La mayoría de los ríos, exceptuando Formiga y Calcón, nacen al norte de la Sierra de Guara y discurren hacia el sur, atravesando las sierras. Además, el régimen fluvial es muy irregular, y depende de las precipitaciones (Cuchí et al., 2010).

Este paisaje accidentado ofrece, desde la perspectiva de los deportes de aventura, un entorno ideal para actividades como el senderismo, la escalada y, especialmente, el barranquismo. Los ríos Flumen, Guatizalema, Formiga, Calcón, Alcanadre, Mascún, Isuela y Vero, junto con sus pequeños afluentes, han erosionado el sustrato calcáreo de la Sierra, creando una red de barrancos y cañones caracterizados por su densidad y espectacularidad. Dentro del Parque se encuentran más de sesenta cauces fluviales adecuados para la práctica del barranquismo. Todo esto hace de esta zona uno de los lugares más destacados de Europa para la práctica de este deporte (Lacosta, 2002).

En lo referido a cuestiones socioeconómicas, gran parte de los espacios rurales de montaña, en las últimas décadas, han experimentado una disminución progresiva de su población, mientras que, de manera paralela, se iban convirtiendo en destinos turísticos. Las áreas rurales se destacaron entre estos nuevos destinos turísticos debido a una revalorización de sus características medioambientales y patrimoniales (Aniés, 2011). El impulso de la actividad turística a gran escala, en el PNSCG, comenzó en la década de los ochenta, impulsado por los deportes de aventura. La práctica estos deportes conlleva una interacción continua con el medio natural, que generalmente, es altamente frágil y posee gran valor ambiental, y el uso excesivo de estos espacios provoca un impacto negativo sobre ellos. Debido a esto es necesario equilibrar la protección de la naturaleza con el desarrollo económico de estas áreas, que por lo general se corresponde con zonas rurales debilitadas geográficamente y para las que el turismo representa una oportunidad potencial de desarrollo para la población local (Lacosta, 2002).

METODOLOGÍA

Análisis bibliográfico de los conceptos de índice de vulnerabilidad y capacidad de carga

Se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica en las plataformas Google académico, ScienceDirect, Alcorze, Dialnet y Web of Science sobre cómo calcular y aplicar en áreas protegidas tanto un índice de vulnerabilidad como la capacidad de carga. Se han utilizado los términos “capacidad de carga”, “load capacity”, “índice vulnerabilidad”, “vulnerability index”, “restricciones en área protegida”, “protected area restriction”.

Cálculo del índice de vulnerabilidad

La metodología empleada en el índice de vulnerabilidad se ha extraído y modificado del documento “Caracterización ecológica de los barrancos del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. HB22031”, de Rocío López y Diego Mota. Este se compone de 3 variables, el índice hidrogeomorfológico, el índice de impacto y el índice de diversidad. A continuación, se explica el procedimiento de cálculo para cada uno de ellos.

Índice hidrogeomorfológico (HGM)

Para el cálculo del índice HGM se han usado los datos de bankfull correspondientes a cada barranco, concretamente se han utilizado el caudal y la profundidad, estos datos han sido obtenidos del informe de Ollero Ojeda (Ollero Ojeda et al., 2010). Primero se ha normalizado entre 0 y 25 cada uno de los datos anteriores y se ha sumado el valor normalizado de caudal y profundidad de bankfull. Por último, se ha restado a 50 el valor de la suma, obteniendo así el valor de vulnerabilidad debida a la HGM para cada barranco. Se ha aplicado la fórmula:

$$50 - (\text{Caudal} + \text{Profundidad})$$

Índice de impacto

Para llevar a cabo el cálculo de este índice se han utilizado los datos obtenidos de las campañas de muestreo realizadas entre 2018 y 2023 (López-Flores y Mota-Echeandía, 2022). Previamente a cualquier análisis, se han transformado los distintos índices biológicos (abundancia, diversidad, riqueza, etc.) mediante $\ln(n+1)$. A continuación, se realizó una correlación entre ellos, de esta, se han seleccionado los índices con correlaciones menores a 0,8 para obtener una matriz en la que no hubiese autocorrelación. Con esta matriz se ha realizado un análisis de componentes principales.

Se ha escogido el componente con más varianza que representa mejor el impacto. Los valores de ese componente para cada muestra se han normalizado entre 0 y 1, para conseguir que todos los valores sean positivos. Una vez normalizados, se ha realizado la media de los datos de cada barranco, de tramos control y tramos afectados (en los barrancos con datos de varios años se ha hecho la media entre los distintos años). Tras esto, se ha calculado el impacto mediante el componente del PCA escogido.

En cuanto a los índices descriptores de la comunidad se han utilizado tanto índices taxonómicos (asociados a la composición de la comunidad de macroinvertebrados), como índices asociados a la calidad de la masa de agua o al estado ecológico e índices asociados a la funcionalidad de la comunidad.

Se ha procedido a hacer la resta de los tramos control menos los afectados, para luego dividir este resultado entre los tramos control. Por último, se ha multiplicado este valor por 100 para obtener el resultado en porcentaje. Es decir, se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{PC Control} - \text{PC Afectado}}{\text{PC Control}} * 100$$

Índice de diversidad

El cálculo de este índice se ha hecho en dos partes, ya que tiene en cuenta la riqueza de macroinvertebrados y la riqueza de flora y fauna, por lo que, se ha calculado un índice de diversidad de flora y fauna y otro índice de diversidad de macroinvertebrados.

Para el índice de flora y fauna se han analizado los datos de inventarios realizados por los Agentes de Protección de la Naturaleza (APN) en las visitas a los barrancos del PN. Se ha calculado la riqueza y el porcentaje de especies catalogadas. La riqueza se ha obtenido haciendo el sumatorio de las distintas especies presentes en cada barranco, y el porcentaje de especies catalogadas se ha calculado dividiendo la cantidad de especies catalogadas entre el total de especies para cada barranco, expresado en porcentaje. Los datos de las especies catalogadas se han extraído de IUCN (2024) y Ministerio para la transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024).

Para el índice de macroinvertebrados se han revisado los datos disponibles y se ha calculado la riqueza y el porcentaje de EPT frente a especies totales para cada barranco. En este caso, se ha escogido utilizar el porcentaje de EPT debido a que tiene en cuenta los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. Se trata de taxones que son hidropneústicos, es decir, que respiran mediante branquias y necesitan oxígeno disuelto en el agua para poder respirar, por lo tanto, son más sensibles a la alteración

del hábitat. Para el cálculo, tanto de la riqueza como del porcentaje de EPT se ha realizado la media entre los distintos datos disponibles de cada barranco.

Por último, para obtener el valor total del índice de diversidad, se ha llevado a cabo la suma de los valores totales del índice de flora y fauna y del índice de macroinvertebrados.

Índice de vulnerabilidad

Después de calcular los tres índices, se ha procedido a sumar el valor obtenido en cada uno de ellos para los distintos barrancos, y, tras esto, teniendo en cuenta el máximo alcanzado en cada categoría, se ha estandarizado a 100 el valor de la suma.

Por último, para tener en cuenta la frecuentación, se han asignados valores entre 0 y 20, dependiendo de la frecuentación de cada barranco, este valor se ha sumado al anterior, obteniendo así el valor total de este índice de vulnerabilidad.

Cálculo de la capacidad de carga del ecosistema

La capacidad de carga poblacional hace referencia al número máximo de individuos que un entorno determinado puede sostener de manera indefinida considerando la disponibilidad de recursos limitados, como por ejemplo el alimento, el agua o el espacio (Del Monte-Luna et al., 2004).

La capacidad de carga del ecosistema se centra en los límites ambientales, representa el tamaño máximo de población que el medio ambiente puede mantener sin provocar daños irreversibles al ecosistema, es decir, sin perder su integridad y funcionalidad (Wang, 2010).

Para el cálculo de la capacidad de carga se ha modificado y aplicado la metodología de la capacidad de acogida física aplicada por Gómez-Limón y García (2014) para senderos.

Para ello se han calculado la capacidad de carga física y la capacidad de carga del ecosistema.

Capacidad de carga física

La capacidad de carga física (CCF) es el límite máximo de visitas que puede hacerse a un sitio con espacio definido, en un tiempo determinado (Cifuentes, 1992). Se ha calculado el valor correspondiente a la CCF de cada barranco.

La fórmula original se aplica en senderos y es la siguiente:

$$\sum \left(\frac{DT}{DG} \frac{TT}{TV} \right) PG$$

Donde:

DT: distancia total del sendero.

DG: distancia mínima recomendable entre grupos.

TT: franja diaria de visita.

TV: tiempo medio dedicado a la visita.

PG: número medio de persona por grupo.

En este caso, se ha transformado para su aplicación a barrancos, siendo:

DT: longitud del barranco en metros.

DG: distancia mínima recomendable entre grupos en minutos.

TT: franja diaria de descenso en horas.

TV: tiempo medio de descenso en horas.

PG: número medio de persona por grupo.

Los datos de longitud del barranco y tiempo medio de descenso se han obtenido de OpenCanyon (OpenCanyon, 2024). La distancia mínima recomendable y el número medio de personas por grupo se ha determinado según lo establecido en la legislación (Red Natural de Aragón, 2023). Aunque no hay ningún tipo de legislación que regule las horas de entradas a los cañones, se ha tenido en cuenta que se practica barranquismo de 8:00 a 18:00 en todos los barrancos, exceptuando el Formiga, que se tiene en cuenta de 7:00 a 20:00.

Capacidad de carga física por superficie (CCFs)

Una vez se ha calculado la CCF se ha procedido a calcular la capacidad de carga física por superficie (CCFs), con ella se va a estimar los pasos que se dan en cada metro del barranco, según lo establecido en la legislación y la anchura del río. Para ello, se ha dividido el dato obtenido de CCF entre la anchura del barranco. Como la anchura de los barrancos no es uniforme a lo largo de todo su recorrido, se ha realizado el cálculo para distintas anchuras, teniendo en cuenta que el valor máximo lo determina la anchura de bankfull de cada barranco.

Por último, para obtener el valor real de los pisoteos, el dato que se ha obtenido de la CCFs se ha multiplicado por 2, debido a que cada persona tiene 2 pies, y, por tanto, debemos tener en cuenta esto para poder calcular el valor real del impacto que puede ejercer cada persona en cada metro cuadrado del barranco.

Carga potencial

El cálculo de la carga potencial (CP) se ha llevado a cabo a partir de los datos de máximo de afluencia registrado en cada barranco y el ancho conocido más habitual.

Se han dividido distintos valores de afluencia entre distintos valores de anchura, teniendo en cuenta la máxima anchura de cada barranco, obteniendo así el valor de la CP. Finalmente, este resultado de CP se ha multiplicado por 2 para calcular el número real de pisadas por metro cuadrado en el barranco.

Capacidad de carga del ecosistema

El cálculo de la capacidad de carga del ecosistema (CCE) se ha llevado a cabo a partir de los datos de pérdida de abundancia de macroinvertebrados tras la temporada de baranquismo y de frecuentación de cada barranco.

Se han utilizado los datos de los experimentos de Sierra (2013), Perez y López (2018) y Sasot (2018), que consistían en infligir una intensidad de pisoteo de 0 y 100 en parcelas control y alteradas, cada una de ellas de 1m², durante 7 días consecutivos. También se han usado los datos obtenidos de las campañas de muestreo realizadas entre 2018 y 2023 (López-Flores y Mota-Echeandía, 2022).

Se ha representado en una gráfica todos estos datos y se han obtenido curvas teóricas a partir de las cuales se puede determinar el valor correspondiente a la CCE.

RESULTADOS

1. Búsqueda bibliográfica

Durante la búsqueda de información sobre el índice de vulnerabilidad se han encontrado 43 trabajos, de los que se han leído los que se consideran relevantes, 17. Tras la revisión de los distintos artículos, finalmente, se ha escogido un documento principal en el que basar la metodología de cálculo de este índice, el documento de López-Flores y Mota, 2022.

Mientras que para la capacidad de carga del ecosistema se han encontrado un total de 63 trabajos, de los cuales se han leído los que se consideran relevantes, 18. Finalmente se han escogido uno para sustentar la metodología de cálculo, el documento de Gómez-Limón y García, 2014.

2. Índice de vulnerabilidad

Se ha llevado a cabo el cálculo de los 3 índices necesarios para calcular el índice de vulnerabilidad, el índice de diversidad, de impacto y de hidrogeomorfología.

Índice de diversidad

Este índice nos permite determinar cuál o cuáles son los barrancos que poseen una mayor diversidad de especies, tanto a nivel de flora y fauna, como a nivel de macroinvertebrados. Para establecer la diversidad, se ha calculado la riqueza de flora y fauna y de macroinvertebrados de cada barranco, cuyos cálculos específicos se encuentran en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Índice de diversidad de flora y fauna. Fuente: Elaboración propia a partir de los inventarios realizados por los APN.

	Riqueza	Sp catalogadas	% sp catalogadas	Riqueza norm.	% sp catalo. norm.	TOTAL
Oscuros del Balcez	44	6	13,64	7,31	7,39	14,70
Carruaca	13	0	0	0	0	0
Formiga	66	7	10,61	12,50	5,74	18,25
Gorgas Negras	34	3	8,82	4,95	4,78	9,73
Mascún	31	3	9,68	4,25	5,24	9,49
Palomeras	36	5	13,89	5,42	7,52	12,95
Peonera	13	3	23,08	0	12,50	12,50
Vero	37	3	8,11	5,66	4,39	10,05

Tabla 2: Índice de diversidad de macroinvertebrados. Fuente: Elaboración propia con datos de López-Flores y Mota, 2022.

	Riqueza	%EPT	Riq. norm.	%EPT norm.	TOTAL
Oscuros del Balcez	15,5	44,21	12,50	2,98	15,48
Carruaca	14	45,91	10,16	3,87	14,03
Formiga	13	43,31	8,59	2,50	11,10
Gorgas					
Negras	9,33	44,81	2,86	3,29	6,16
Mascún	10,33	62,33	4,43	12,50	16,93
Palomeras	8,33	47,77	1,30	4,85	6,15
Peonera	9,33	50	2,86	6,02	8,89
Vero	7,5	38,54	0	0	0

Para obtener el valor de cada uno de estos índices, los datos de riqueza y de especies catalogadas (especies catalogadas en alguna categoría con algún tipo de protección), en el caso del índice de flora y fauna, y los datos de riqueza y EPT, en el caso del índice de macroinvertebrados, se han normalizado entre 0 y 12,5. Los datos utilizados para el cálculo del índice de diversidad de macroinvertebrados se encuentran en el Anexo I. Posteriormente se ha sumado cada uno de los valores normalizados para obtener los datos que se observan tanto en las Tablas 1 y 2 como en la segunda y tercera columna (Í. flora y fauna e Í. macroinvertebrados) de la Tabla 3. Para obtener el valor total de este índice se han sumado el valor de ambos índices para cada barranco, siendo 50 el valor máximo alcanzable.

Como se puede observar en la Tabla 3, Oscuros del Balcez es el que obtiene una cifra mayor, siendo el que mayor diversidad posee, mientras que el que posee un valor menor es Vero, es decir, el que tiene una menor diversidad en comparación con el resto.

Tabla 3: Índice de diversidad. Fuente: Elaboración propia.

	Í. flora y fauna	Í. macroinv.	TOTAL
Oscuros del Balcez	14,70	15,48	30,18
Carruaca	0	14,03	14,03
Formiga	18,24	11,10	29,34
Gorgas Negras	9,73	6,16	15,89
Mascún	9,49	16,93	26,41
Palomeras	12,95	6,15	19,10
Peonera	12,5	8,89	21,39
Vero	10,05	0	10,05

Índice de impacto

Con este índice se puede determinar el % de biodiversidad bentónica perdida en cada barranco a causa del barranquismo. Se ha calculado a partir de los datos disponibles de las campañas de seguimiento de la comunidad de macroinvertebrados entre el 2018 y el 2023.

Tabla 4: Valores medios, máximos y mínimos de impacto en la abundancia y riqueza de los barrancos en tramos control y afectados. Fuente: Elaboración propia.

	Tramo control o afectado	Valor medio	Valor máximo	Valor mínimo
Oscuros del Balcez	control	0,63	0,81	0,46
Carruaca	control	0,76	1	0,29
Formiga	control	0,47	0,63	0,22
Gorgas Negras	control	0,40	0,43	0,36
Mascún	control	0,48	0,70	0,28
Palomeras	control	0,34	0,48	0,21
Peonera	control	0,34	0,39	0,26
Vero	control	0,28	0,37	0,20
Oscuros del Balcez	afectado	0,15	0,28	0
Carruaca	afectado	0,22	0,35	0,09
Formiga	afectado	0,20	0,42	0,09
Gorgas Negras	afectado	0,29	0,35	0,19
Mascún	afectado	0,33	0,47	0,17
Palomeras	afectado	0,18	0,28	0,05
Peonera	afectado	0,20	0,23	0,19
Vero	afectado	0,27	0,37	0,19

Se ha comenzado realizando la correlación de los índices biológicos, tras transformarlos previamente a $\ln(n+1)$, adjuntado en el Anexo II. A continuación, con la matriz obtenida, se ha realizado el análisis de componentes principales, que se encuentran en el Anexo III, tras el que se ha escogido el primer componente, PC1, el cual posee una varianza de 71,41%, un valor muy superior al correspondiente al segundo componente, PC2, cuyo valor es de 12,769%.

El eje x o componente 1 de la figura 2 corresponde al PC1, que se encuentra correlacionado con la mayoría de los índices. En la figura encontramos representadas las muestras en tramos control como puntos en verde y las muestras en tramos afectados por el barranquismo en triángulos rojos.

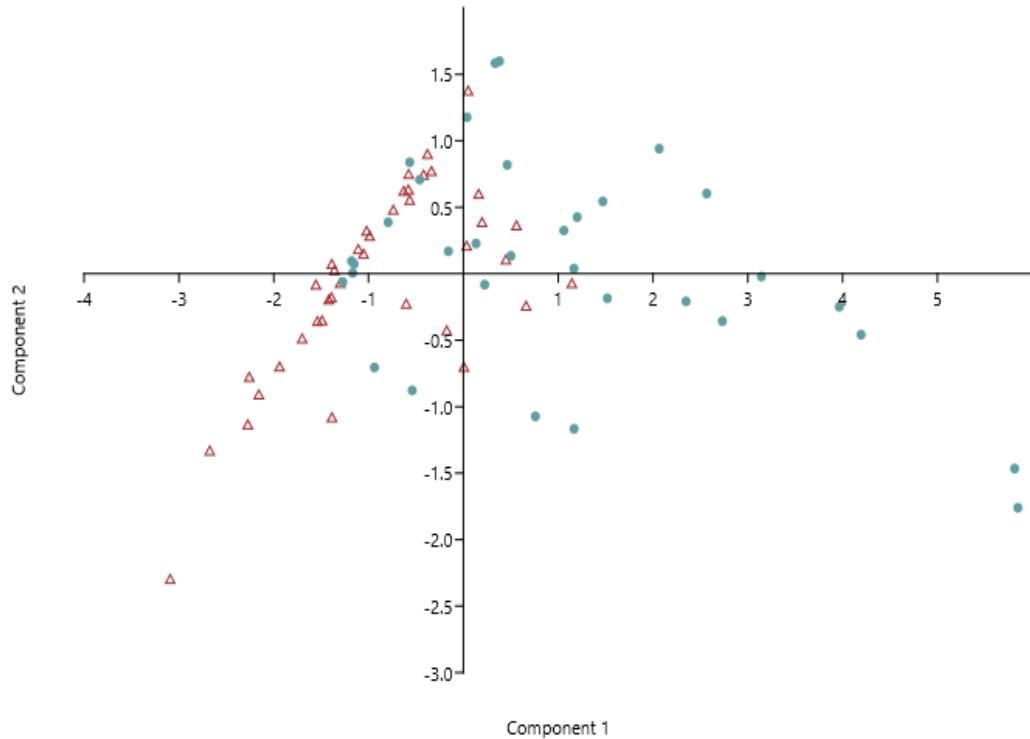


Figura 2: Análisis de Componentes principales (PCA) de los principales índices biológicos determinados en las campañas 2018-2023. Fuente: Elaboración propia.

Después de esto, se han normalizado los datos del PC1 entre 0 y 1, este cálculo se halla en el Anexo IV. Tras esto, se ha hecho la media de los datos de los tramos control y afectados para los distintos barrancos, para posteriormente llevar a cabo la diferencia entre ambos y la división entre los tramos control. Finalmente, el valor de este cálculo se ha multiplicado por 100, obteniendo así el resultado en porcentaje, como se puede visualizar en la Tabla 5.

Con este índice se obtiene una variable asociada a la pérdida de biodiversidad bentónica producida por la perturbación. En este caso, como se puede ver en la Tabla 5, Oscuros del Balcez vuelve a alcanzar el mayor valor, siendo el que mayor pérdida de biodiversidad bentónica sufre tras la temporada de barranquismo. Mientras que el que sufre una menor pérdida de esta es Vero, ya que es el que menor valor presenta.

Tabla 5: Índice de impacto obtenido a partir de los datos de las campañas 2018-2023.
 Fuente: Elaboración propia.

	PC1 Control	PC1 Afectado	(PC1 Control-PC1 Afectado)/PC1 Control	TOTAL (%)
Oscuros del Balcez	0,63	0,15	0,76	75,73
Carruaca	0,76	0,22	0,71	70,83
Formiga	0,48	0,20	0,57	56,95
Gorgas Negras	0,40	0,29	0,28	27,67
Mascún	0,48	0,33	0,31	31,20
Palomeras	0,34	0,18	0,49	48,57
Peonera	0,34	0,20	0,41	41,16
Vero	0,28	0,27	0,04	4,24

Índice hidrogeomorfológico (HGM)

A través de este índice se puede conocer el caudal y profundidad de los distintos ríos. En primer lugar, para su cálculo, se ha normalizado entre 0 y 25 los valores de caudal y profundidad de bankfull (bankfull Depth y bankfull Discharge) (Anexo V), determinados por Ollero Ojeda et al. 2010, para posteriormente sumar el valor de cada barranco, siendo 50 el máximo valor alcanzable. Para obtener el valor total del HGM se ha restado a 50 el valor de la suma anterior, obteniendo los datos de la Tabla 6.

En este caso, los que presentan un mayor caudal y profundidad, son los barrancos que obtienen un menor valor en el índice, lo que significa que poseer estas características reduce la pérdida de diversidad. Como se puede observar en la Tabla 6, Carruaca obtiene el mayor valor y Formiga el menor.

Tabla 6: Índice hidrogeomorfológico calculado a partir de los datos de Ollero Ojeda et al. 2010. Fuente: Elaboración propia.

	Profundidad normalizada	Caudal normalizado	Suma profundidad y caudal	TOTAL (50-suma)
Oscuros del Balcez	12,70	25	37,70	12,30
Carruaca	4,10	0	24,30	45,90
Formiga	25	16,35	41,35	8,65
Gorgas Negras	0	9,01	9,01	40,99
Mascún	8,61	15,63	14,12	25,76
Palomeras	6,56	3,60	10,15	39,84
Peonera	8,61	5,52	4,10	35,88
Vero	20,08	6,07	26,15	23,85

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Una vez calculados los tres índices necesarios para el cálculo del índice de vulnerabilidad, se ha realizado la suma de cada uno de ellos para cada barranco, y, tras esto, teniendo en cuenta el máximo alcanzado en cada categoría, se ha estandarizado a 100 el valor de la suma. La cifra máxima de cada índice es:

- Índice diversidad: 30,18
- Índice de impacto: 75,73
- Índice hidrogeomorfológico: 45,90

La suma de estos tres valores da 151,812, y se ha aproximado a 152 para realizar los cálculos.

Por último, para reflejar la frecuentación de cada barranco se ha aplicado un modulador a los resultados obtenidos anteriormente, los rangos se encuentran en la Tabla 7. Es decir, se le ha sumado un valor entre 0 y 20 correspondiente a la frecuentación de cada barranco, obteniendo así el valor total de este índice.

Tabla 7: Modulador en función de la frecuentación de los barrancos del PNSCG. Fuente: López-Flores y Mota, 2022.

Personas /día	Puntos Modulador
20	1
50	5
100	10
>200	20

Finalmente, con los valores establecidos en la Tabla 8 para las distintas categorías de vulnerabilidad, se ha llegado a una clasificación para los barrancos.

Tabla 8: Clasificación índice de vulnerabilidad. Fuente: López-Flores y Mota, 2022.

Valores del índice de vulnerabilidad	Características del barranco
<20	Baja vulnerabilidad: caudal elevado, pocas especies protegidas, impacto bajo.
20-40	Preocupación menor: caudal y profundidad elevada; poca afectación del pisoteo; pocas especies protegidas afectadas.
40-60	Preocupación media: caudal y profundidad medios; leve afectación del pisoteo; algunas especies protegidas afectadas.
60-80	Preocupación alta: caudal y profundidad bajos; considerable afectación del pisoteo; presencia de especies protegidas afectadas.
>80	Preocupación máxima: caudal efímero; abundantes especies protegidas; impacto superior al 40%.

Conforme a la Tabla 8, se presentan los valores del índice para los barrancos monitoreados entre las temporadas 2018 y 2023, junto con su catalogación indicada con colores. Como se aprecia en la Tabla 9, los barrancos clasificados en la categoría de preocupación máxima son la Carruaca, Oscuros del Balcez y la Peonera.

Tabla 9: Índice de diversidad de los barrancos del PNSCG. Fuente: Elaboración propia.

	I. diversidad	I. impacto	HGM	Suma índices	Sobre 100	Frecuentación	TOTAL
Oscuros del Balcez	30,18	75,73	12,30	118,21	77,77	10	87,77
Carruaca	14,03	70,83	45,90	130,76	86,03	5	91,03
Formiga	29,34	56,95	8,65	94,95	62,46	10	72,46
Gorgas Negras	15,89	27,67	40,99	84,55	55,63	5	60,63
Mascún	26,41	31,20	25,76	83,37	54,85	5	59,85
Palomeras	19,10	48,57	39,85	107,51	70,73	5	75,73
Peonera	21,39	41,16	35,88	98,42	64,75	20	84,75
Vero	10,05	4,24	23,85	38,14	25,09	10	35,09

3. Capacidad de carga del ecosistema

Se ha realizado el cálculo de la capacidad de carga física, la capacidad de carga por superficie, de las pisadas por metro cuadrado, de la carga potencial y de la capacidad de carga del ecosistema.

Capacidad de carga física

Para determinar la capacidad de carga física (CCF) de los barrancos del PNSCG se ha considerado por la legislación vigente para barranquismo (Red Natural de Aragón, 2023). En el caso del número medio de personas por grupo (PG), se ha tenido en cuenta que los grupos que realizan barranquismo van acompañados, habitualmente de 1 o 2 guías, por lo que al valor establecido por la legislación se ha sumado 2 más.

Se ha aplicado la fórmula tal como se explica en la metodología, para calcular la CCF (Tabla 10), este valor sería la capacidad de carga que se permite a día de hoy, dentro de la legislación, para cada barranco.

En la Tabla 10 se reflejan los siguientes datos:

DT: longitud del barranco en metros.

DG: distancia mínima recomendable entre grupos en minutos.

TT: franja diaria de descenso en horas.

TV: tiempo medio de descenso en horas.

PG: número medio de persona por grupo.

CCF: capacidad de carga física.

Se observa que el barranco con mayor capacidad de acogida es la Peonera, mientras que el que admite un menor número de personas es la Carruaca.

Tabla 10: Capacidad de carga física de los barrancos del PNSCG. Fuente: Elaboración propia.

	Longitud (km)	DT(m)	DG (min)	TT (horas)	TV (horas)	PG (personas)	CCF (personas)
Oscuros del Balcez	1,60	1600	10	10	3	12	6400
Carruaca	0,90	900	10	10	1,5	10	6000
Formiga	1,50	1500	10	13	2	10	9750
Gorgas Negras	11,4	11400	10	10	7	10	16286
Mascún	8,60	8600	10	10	4	10	21500
Palomeras	1,30	1300	10	10	2	10	6500
Peonera	12,80	12800	10	10	4	12	38400
Vero	5,80	5800	10	10	3	12	23200

Capacidad de carga física por superficie (CCFs)

Una vez calculada la CCF total de cada barranco, se ha tenido en cuenta la anchura de los barrancos para calcular la capacidad de carga física por superficie, teniendo en cuenta el valor de la anchura de bankfull, que se encuentra en la Tabla 11. Se ha dividido el valor de CCF, obtenido en la Tabla 10, entre las distintas anchuras del río posibles, determinando la distribución de personas a lo ancho del río. Se asume que una vez dentro, todos los deportistas recorren toda la longitud del barranco. Los valores de estas operaciones se encuentran en la columna CCFs de las Tablas 12-19.

Para determinar los distintos valores de anchura para el cálculo se ha establecido el valor máximo de cada barranco a partir de la anchura de bankfull, por lo que para el cálculo se han usado anchuras de 1, 2, 3, 4, y 5 metros, y a partir de ahí en intervalos de 5 metros hasta llegar al valor máximo de cada uno.

Tabla 11: Datos de profundidad de bankfull. Fuente: Ollero Ojeda et al., 2010.

	Bankfull Width (m)
Oscuros del Balcez	9
Carruaca	8
Formiga	2,1
Gorgas Negras	22
Mascún	13,6
Palomeras	10,6
Peonera	8,5
Vero	10,5

Para obtener el valor de pisadas por metro cuadrado de cada barranco, se ha multiplicado el dato obtenido en CCFs por 2, ya que cada persona tiene 2 pies. Se presentan los resultados de cada barranco en las Tablas 12-19.

OSCUROS DEL BALCEZ

Dado que la anchura de bankfull es de 9 metros, se ha calculado para distintas anchuras, hasta 10 metros.

Tabla 12: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Oscuros del Balcez. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
6400	1	6400	12800
6400	2	3200	6400
6400	3	2133	4267
6400	4	1600	3200
6400	5	1280	2560
6400	10	640	1280

CARRUACA

Teniendo en cuenta que su anchura es de 8 metros, se ha establecido los cálculos con anchuras hasta un máximo de 10 metros.

Tabla 13: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco la Carruaca. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
6000	1	6000	12000
6000	2	3000	6000
6000	3	2000	4000
6000	4	1500	3000
6000	5	1200	2400
6000	10	600	1200

FORMIGA

Considerando que la anchura máxima es de 2,1 metros se ha calculado hasta 5 metros.

Tabla 14: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Formiga. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
9750	1	10500	19500
9750	2	5250	9750
9750	3	3500	6500
9750	4	2625	4875
9750	5	2100	3900

GORGAS NEGRAS

Puesto que la anchura de bankfull es de 22 metros se han realizado los cálculos para anchuras hasta 25 metros.

Tabla 15: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Gorgas Negras. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
16286	1	16286	32572
16286	2	8143	16286
16286	3	5429	10857
16286	4	4072	8143
16286	5	3257	6514
16286	10	1629	3257
16286	20	814	1629
16286	25	651	1303

MASCÚN

Se ha realizado el cálculo de anchuras hasta 15 metros, dado que la anchura de bankfull es de 13,6 metros.

Tabla 16: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Mascún. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
21500	1	21500	43000
21500	2	10750	21500
21500	3	7167	14333
21500	4	5375	10750
21500	5	4300	8600
21500	10	2150	4300
21500	15	1433	2867

PALOMERAS

El cálculo se ha realizado para anchuras de hasta 15 metros, considerando que la anchura de bankfull es de 10,6.

Tabla 17: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Palomeras. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
6500	1	6500	13000
6500	2	3250	6500
6500	3	2167	4333
6500	4	1625	3250
6500	5	1300	2600
6500	10	650	1300
6500	15	433	867

PEONERA

Dado que la anchura de bankfull es de 8,5 metros, se ha efectuado el cálculo para anchuras de hasta 10 metros.

Tabla 18: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco la Peonera. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
38400	1	38400	76800
38400	2	19200	38400
38400	3	12800	25600
38400	4	9600	19200
38400	5	7680	15360
38400	10	3840	7680

VERO

Considerando que la anchura de bankfull es 10,5 metros, se ha calculado para diferentes anchuras de hasta 15 metros.

Tabla 19: Capacidad de carga física por superficie y pisadas por superficie en el barranco Vero. Fuente: Elaboración propia.

CCF	ANCHURA (m)	CCFs (personas/m ²)	PISADAS (pisadas/m ²)
23200	1	23200	46400
23200	2	11600	23200
23200	3	7733,333	15466,667
23200	4	5800	11600
23200	5	4640	9280
23200	10	2320	4640
23200	15	1546,667	3093,333

En las Tablas 12-19, correspondientes al cálculo de la capacidad de carga física por superficie, se observa que cuanto mayor es la anchura del río, menor es el número de pisadas por metro cuadrado. Esto implica que los tramos más estrechos de los barrancos sean donde se produzca un mayor impacto, ya que la gran mayoría de los barranquistas tenderán a pisar las mismas zonas, concentrando así el efecto del paso y aumentando el impacto en esas zonas.

Carga potencial

La carga potencial de los barrancos del PNSCG se ha calculado con los datos de afluencia y el ancho conocido más habitual.

Se ha obtenido el valor de esta dividiendo los valores de afluencia entre las correspondientes anchuras. Por último, se ha multiplicado por 2 el valor de la CR para determinar el número real de pisadas que se dan por metro cuadrado en el barranco., estas operaciones se encuentran en la Tabla 20.

Los datos más probables de cada barranco, determinados tanto por sus dimensiones de ancho como por la frecuentación que reciben, se encuentran resaltados de color salmón.

Tabla 20. Cálculo de la carga potencial de personas y pisadas para los barrancos del PNSCG, basado en los datos de afluencias reales para el año 2022 y 2024. Las casillas sombreadas son la carga potencial y pisadas por superficie más probables por cada barranco, ancho y número de personas.

		BALCEZ		CARRUACA		FORMIGA		GORGAS NEGRAS		MASCÚN		PALOMERAS		PEONERA		VERO	
Personas	Anchura	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²	CP (m ²)	Pisadas por m ²
25	1	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50
25	2	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25
25	3	8	17	8	17	8	17	8	17	8	17	8	17	8	17	8	17
25	4	6	13	6	13	6	13	6	13	6	13	6	13	6	13	6	13
50	1	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
50	2	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50
50	3	17	33	17	33	17	33	17	33	17	33	17	33	17	33	17	33
50	4	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25	13	25
100	1	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200
100	2	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
100	3	33	67	33	67	33	67	33	67	33	67	33	67	33	67	33	67
100	4	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50
150	1	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300
150	2	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150
150	3	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
150	4	38	75	38	75	38	75	38	75	38	75	38	75	38	75	38	75
200	1	200	400	200	400	200	400	200	400	200	400	200	400	200	400	200	400
200	2	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200
200	3	67	133	67	133	67	133	67	133	67	133	67	133	67	133	67	133
200	4	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
250	1	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500	250	500
250	2	125	250	125	250	125	250	125	250	125	250	125	250	125	250	125	250
250	3	83	167	83	167	83	167	83	167	83	167	83	167	83	167	83	167
250	4	63	125	63	125	63	125	63	125	63	125	63	125	63	125	63	125
300	1	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600	300	600
300	2	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300
300	3	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200
300	4	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150	75	150

Los valores de pisadas dadas por los barranquistas por metro cuadrado muestran diferencias entre los distintos barrancos estudiados. En los Oscuros del Balcez con una afluencia media de 31 personas, se registrarían 62 pisadas por m^2 si la anchura del barranco fuera 1 metro. El valor máximo de pisoteo por m^2 calculado es de 400, mientras que el mínimo es de 25. En la Carruaca, el rango de valores es similar, situándose entre 25 y 400 el número de pisadas que se darían por m^2 . El Formiga alcanza un máximo de 500 pisadas por m^2 y un mínimo de 25. En Gorgas Negras los valores oscilan entre 100 y 17 pisoteos por m^2 . En el Mascún, el máximo determinado es de 300 pisadas por m^2 de, y el mínimo de 20. En Palomeras la cantidad máxima de pisadas por m^2 se encuentra entre 100 y 25. Por su parte, en la Peonera, con una afluencia media de 150 personas, se generarían 300 pisadas por m^2 , se registran valores entre 85 y 417 pisadas por m^2 . El Vero con una afluencia promedio de 98 personas el número de pisadas medias por m^2 se situaría en 196, mientras que el intervalo de pisadas por m^2 fluctúa entre 13 y 400.

Además, al analizar los datos obtenidos para la carga potencial (Tabla 20), se ve que, actualmente, la frequentación es mucho menor de lo permitido por las normativas, a pesar de ello, el impacto que se genera en los barrancos sigue siendo significativo, tal como reflejan los resultados obtenidos para el índice de vulnerabilidad (Tabla 9).

CAPACIDAD DE CARGA DEL ECOSISTEMA

La capacidad de carga del ecosistema se ha calculado a partir de los datos de pérdida de abundancia de los barrancos del PNSCG, ya que esta variable ha resultado estar correlacionada con el nivel de frequentación (López-Flores et al. en prensa). Se han utilizado los resultados obtenidos en los experimentos de pisoteo de Sierra y López-Flores (2013), Pérez y López-Flores (2018) y Sasot (2018), realizados en los barrancos Formiga y Peonera en 2013 y 2017 (Tabla 21). Además, se ha calculado el impacto en la abundancia a partir de los datos de las campañas de muestreo realizadas entre 2018 y 2023 (López-Flores y Mota-Echeandía, 2022 y 2023; Anexo VI; Tabla 22).

Tabla 21: Datos de los experimentos de Sierra y López-Flores (2013), Pérez y López-Flores (2018) y Sasot (2018).

% pérdida de abundancia	
Jorge Sierra (2013)	56
Mª Luisa Pérez (2018)	53
Luis Sasot (2018)	90

Tabla 22: Pérdida de abundancia en los barrancos del PNSCG calculada a partir de los datos de los informes entre 2018 y 2023. Fuente: Elaboración propia.

% pérdida abundancia	
Oscuros del Balcez	92
Carruaca	93
Formiga	89
Gorgas Negras	36
Mascún	56
Palomeras	74
Peonera	87
Vero	19

Todos estos datos se han representado en un gráfico (Figura 3), donde los valores de los experimentos se han representado mediante rombos amarillos y los datos extraídos de los informes se muestran como círculos azules.

A partir de estos datos, que son relativamente limitados para realizar un ajuste preciso, se han generado tres curvas teóricas diseñadas de manera que todas ellas describen una asíntota en el valor de impacto 100% y se diferencia en el punto de inflexión de la curva, siendo este en 50, 100 y 200 personas por día.

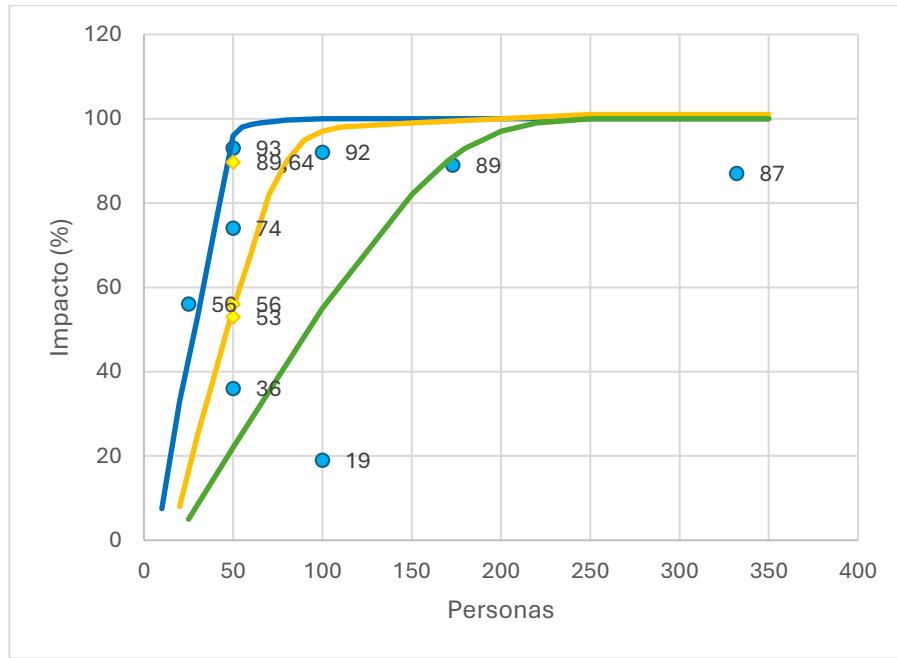


Figura 3: Curvas teóricas del impacto ejercido sobre los barrancos del PNSCG. Todas las líneas describen una asíntota en el impacto 100%. La diferencia entre las líneas es el punto de inflexión, siendo 50 en para la línea azul, 100 para la línea amarilla y 200 para la línea verde. Fuente: Elaboración propia.

La figura 3 muestra que la saturación de impacto, entendida como el número de personas a partir del cual el impacto alcanza el 100%, se encuentra en torno a 100 personas. En la curva de color azul se representa la inflexión en el punto de 50 personas por día. Por otro lado, en la curva de color amarillo, la inflexión corresponde a 100 personas por día, el impacto experimenta un incremento significativo hasta llegar a las 50 personas, pero es en torno a 100 personas donde se estabiliza, alcanzando el 100% del impacto. Por último, la curva de color verde que refleja una inflexión de 200 personas por día, el impacto crece notablemente hasta alcanzar el 100% de impacto en torno a 200 personas. Como se puede observar, los valores de frecuentación son bastante mayores a 100 personas por día en ciertos barrancos.

DISCUSIÓN

ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LOS BARRANCOS DE GUARA

Se ha diseñado y puesto a punto un índice de vulnerabilidad para los barrancos del PNSCG, teniendo en cuenta su diversidad de flora y fauna y de macroinvertebrados; la hidrogeomorfología de los barrancos y el impacto de la actividad deportiva sobre la comunidad bentónica. La ponderación de los tres bloques de características de los barrancos evaluadas da lugar a una puntuación para cada barranco, que posteriormente se modula con un factor proporcional a la frecuentación registrada. Finalmente, se ha obtenido una clasificación de 5 categorías de vulnerabilidad, que va de *preocupación mínima* a *preocupación máxima*.

Tras la aplicación del índice de vulnerabilidad, en los barrancos del PNSCG, se ha comprobado que aquellos que presentan una mayor vulnerabilidad son la Carruaca, los Oscuros del Balcez y la Peonera, y, por tanto, son los que alcanzaron la categoría de *preocupación máxima*. La Carruaca y los Oscuros del Balcez, ya figuraban entre los dos barrancos más vulnerables antes de modular el índice con la frecuentación, en cambio, la Peonera pasa a ser el tercer barranco más vulnerable una vez sumada la puntuación debida a la frecuentación. Antes de realizar esa última matización, Palomeras del Flumen ocupaba la tercera posición. Este cambio se debe a que la Peonera es el barranco que registra una mayor afluencia de visitantes, más de 200 personas por día y máximos registrados de 350 personas diarias (López-Flores y Mota-Echaendía, 2022).

Por otro lado, el Vero es el barranco menos vulnerable de los estudiados, obtuvo la categoría de *preocupación menor*, a pesar de que recibe una frecuentación de unas 100 personas por día. Esto se debe a sus características, ya que es el segundo río con mayor profundidad, lo que reduce significativamente el impacto del pisoteo en el fondo, y, como resultado, hace que presente poca pérdida de biodiversidad bentónica tras la temporada de barranquismo, menos del 5%. Otro factor que influye significativamente en la determinación de la categoría es la presencia de una menor diversidad con solamente tres especies clasificadas

En cuanto al resto de barrancos, exceptuando Mascún clasificado como *preocupación media*, Palomeras del Flumen, Formiga y Gorgas Negras se situaron en la categoría de *preocupación alta*.

Centrándonos en los barrancos clasificados como *preocupación máxima*, la Carruaca obtiene un 91 en el índice de vulnerabilidad, posicionándose como el barranco con el valor más alto. En este se produce una gran pérdida de diversidad bentónica tras

la temporada de barranquismo, un 71%, siendo el segundo barranco con mayor reducción. Esta pérdida se ve agravada por sus características hidrogeomorfológicas, ya que es el barranco que posee el menor caudal y una de las menores profundidades, y debido a esto, es más probable que las personas que practiquen barranquismo pisen con mayor frecuencia el fondo, intensificando así el impacto potencial. Además, posee una de las diversidades de macroinvertebrados más altas, por lo que la posibilidad de que se vea afectada es mayor.

El barranco de los Oscuros de Balcez (87,8), a pesar de ser el que presenta un mayor caudal, es el que experimenta una mayor pérdida de biodiversidad bentónica, ya que esta se reduce en un 76% como consecuencia de la perturbación causada por la práctica del barranquismo. Es el barranco que cuenta con mayor diversidad de flora y fauna, además, alberga seis especies catalogadas, y también presenta una gran diversidad de macroinvertebrados, siendo el barranco con la mayor riqueza de estos.

La Peonera (84,8) presentó un 41% de pérdida de biodiversidad bentónica tras la temporada de barranquismo, lo que puede estar asociado al hecho de ser el barranco más frecuentado del PNCG.

Si comparamos estos resultados con los obtenidos por López-Flores y Mota (2022), se observa que en su estudio los barrancos clasificados como preocupación máxima en el índice de vulnerabilidad fueron Oscuros del Balcez, la Carruaca y el Formiga, coincidiendo los dos primeros con la clasificación de este trabajo. Por otro lado, los barrancos clasificados como preocupación menor fueron el Vero y la Peonera. El cambio en el orden de la clasificación de los barrancos en este trabajo se debe a los cambios que se han realizado en la metodología de cálculo y a la incorporación de nueva información. En particular, en el caso de la Peonera, se han añadidos nuevos datos sobre el impacto en la comunidad de macroinvertebrados (actualizados con los datos del informe de seguimiento de 2023), el caudal y la profundidad bankfull, lo que ha provocado un cambio significativo sobre el valor final obtenido en la clasificación del índice de vulnerabilidad de este barranco. El valor obtenido en este estudio parece representar mejor la vulnerabilidad del barranco Peonera recogida en los distintos informes y trabajos revisados (Perez y López-Flores, 2018; López-Flores y Echeandía, 2022 y 2023).

A pesar de ser un deporte cuyos impactos están muy poco estudiados, diversos trabajos destacan la importancia que el pisoteo continuado puede tener sobre el ecosistema. En el estudio realizado por Hardiman y Burgin (2003) en Blue Mountains (Australia), donde analizan la vulnerabilidad de los barrancos en relación con la

frecuentación turística, destacaron que estos ecosistemas son particularmente sensibles debido a sus características únicas, como su flora y fauna especializadas, y sus condiciones microclimáticas. La alta afluencia de visitantes puede causar compactación del suelo, pérdida de vegetación, alteración de hábitats y contaminación de agua, lo que pone en riesgo su equilibrio ecológico. Por ello, subrayan la importancia de estrategias de gestión que limiten el impacto humano y preserven la integridad de estos entornos.

Jenkins (2016) en su estudio sobre el barranquismo en el Grand Canyon National Park, obtuvo resultados en línea con los de este trabajo, resaltando los impactos generados por este deporte sobre el ecosistema, como la erosión y alteraciones en los hábitats naturales. Además, identificó áreas vulnerables debido al paso frecuente de barranquistas, lo que resalta la necesidad de aplicar medidas para mitigar estos impactos en el medio ambiente.

CAPACIDAD DE CARGA DEL ECOSISTEMA

El proceso de cálculo de capacidad de carga del ecosistema es complejo y requiere, inicialmente, tener en cuenta la carga física y la carga legal que admite el espacio (en este caso cada barranco). Tras este cálculo de capacidad física y legal, se ha aplicado la anchura de cada barranco para poder conocer el pisoteo potencial máximo por metro cuadrado que podría llegar a sufrir el ecosistema. Estos valores dependían principalmente de la frecuentación y anchura, máximas y mínimas, de cada barranco. Así, la carga potencial se estima entre 300 y 25 personas por día y metro cuadrado, lo que supondría el doble de pisoteos por metro cuadrado.

La complicación de la estimación de la capacidad de carga residió en el hecho de que raramente se determina la frecuentación y el impacto en el mismo barranco y en la misma temporada. Es decir, que para determinar este valor sería necesario diseñar un monitoreo con ese fin. De modo que, en este trabajo, la capacidad de carga del ecosistema se calculó aprovechando la existencia previa de experimentos de pisoteo en los barrancos Formiga y Peonera. Estos datos, junto con los datos de impacto en la abundancia de individuos de las diferentes campañas de seguimiento, dieron lugar a un modelo que incluye todos los barrancos, y en el que se contemplan las curvas de impacto en relación con la frecuentación. Se ensayaron 3 curvas exponenciales, con asíntota en impacto 100% y con puntos de inflexión de la curva en 50, 100, 200 deportistas al día. Esto significa que a partir de este número de deportistas el impacto satura, es decir que ya es máximo y no puede apenas aumentar. La mayoría de puntos representados se encontraron por debajo de la curva con punto de inflexión 200 y por

encima de la curva con para 50 deportistas, por lo que se consideró que la capacidad de carga del ecosistema obtendría un valor próximo a 100 personas.

Tomando como referencia los datos del barranco con la mayor carga potencial, la Peonera, que registró una afluencia máxima de 313 personas (campaña 2022), se ha calculado el grado de sobreestimación de la carga potencial, es decir, el máximo de personas/m² que podrían acceder teniendo en cuenta las características físicas del barranco y respetando la normativa, en comparación con la capacidad de carga del ecosistema (Figura 3), establecida en torno a 100 personas.

Tabla 23: Sobreestimación de la carga potencial en % comparándola con la capacidad de carga del ecosistema. Fuente: Elaboración propia.

	Carga Potencial (personas)	Capacidad Carga Ecosistema (personas)	%
Peonera	300	100	300

Los resultados obtenidos (Tabla 23) indican que la carga potencial se encuentra 3 veces por encima de la carga asociada al impacto máximo.

Según los datos de la Tabla 10, en la que se ha obtenido la carga física, se observa que, la legislación actual permite la entrada de un elevado número de personas en los barrancos del PNSCG. Tomando nuevamente la Peonera como ejemplo, al ser el barranco con mayor frequentación registrada, su capacidad de carga física es de 38400 personas, siendo su carga potencial máxima 300 personas/m². Este valor supera ampliamente la capacidad de carga del ecosistema, evidenciando una gran desproporción entre los valores de la normativa y el valor de saturación de impacto (100 personas/día).

Además, los datos de abundancia de macroinvertebrados muestran que, tras la temporada de barranquismo, exceptuando el Vero, en el resto de barrancos se registra una notable disminución de esta. En el caso de la Carruaca, que muestra la mayor pérdida de abundancia, también posee el mayor valor del índice HGM, lo cual podría estar relacionado con poseer un menor caudal y profundidad.

En los experimentos realizados por Sierra y López-Flores (2013), Perez y López-Flores (2018) y Sasot (2018) se demostró que, ejerciendo 100 pisadas (equivalentes a 50 personas) por metro cuadrado, durante siete días seguidos, ya se generaba un impacto importante (entre 50 y 90%). Al comparar los datos obtenidos con los de

afluencia máxima en los barrancos, se observó que, en muchos de ellos, la frecuentación es superior a la ensayada en los experimentos, igual que el impacto registrado. Además, se presentan datos de 8 barrancos, relacionados con las frecuentaciones medias y máximas anuales. A partir de los datos de los últimos estudios realizados (López-Flores y Mota, 2022; López-Flores y Mota, 2023; López-Flores, 2024), se puede inferir que la frecuentación actual está muy cercana al 100% de impacto en muchos de los barrancos, principalmente esto se observa en aquellos en que la frecuentación máxima diaria supera los 100 deportistas al día (Figura 3).

Tras analizar varios documentos sobre los efectos que pueden tener los deportes de aventura y el turismo en parques naturales, coinciden en lo mismo, el turismo masificado conlleva un gran impacto en el medio, principalmente sobre los elementos suelo, agua, vegetación, fauna y paisaje.

Mocosó y Moyano (2006), identifican desafíos ambientales como la degradación de ecosistemas, la contaminación y el desgaste de recursos naturales debido al exceso de visitantes, abogando por la importancia de implementar estrategias sostenibles. Por su parte Borges et al. (2014) enfatizan que llevar a cabo deportes de aventura en entornos conservados y frágiles pueden provocar daños o impactos ambientales sobre el medio si no existe una adecuada regulación. También señalan la afección al espacio natural protegido puede ocurrir por diferentes razones, como inadecuada ubicación, carga o uso de la actividad. En línea con esto, Rodríguez (2009) afirma la existencia una demanda creciente en cuanto al uso y disfrute de los espacios naturales protegidos, señalando que esto se ha convertido en un problema en muchos espacios naturales protegidos españoles, ocasionando el deterioro de las zonas más expuestas a los visitantes. Mientras Morcillo (2022) detalla los impactos potenciales medioambientales negativos más frecuentes generados a causa del barranquismo, sobre el suelo, el agua, la vegetación, la fauna, el paisaje y medio humano, como desprendimiento de rocas, alteración en lechos fluviales o desplazamiento de especies por molestias.

En otros parques Naturales y Nacionales, ya sea en España o a nivel internacional se lleva a cabo un control de acceso de los visitantes, como por ejemplo en el Parque Nacional del Teide (España) o en el Grand Canyon National Park (Estados Unidos).

En el primer caso, el acceso al pico del Teide se encuentra restringido y requiere un permiso gratuito que se debe solicitar a través de su página web. Este permiso limita el número de visitantes diarios y establece unos horarios de visita (de 9:00 a 17:00), con el fin de proteger la flora y fauna de la zona, así como para reducir el impacto del turismo. Además, algunas rutas del parque también cuentan con restricciones o requerimientos específicos para evitar la erosión y proteger el paisaje (Gobierno de Canarias, 2010).

En el Grand Canyon National Park, todos los visitantes deben adquirir un “Pass to enter”, es decir, una entrada necesaria para poder acceder al parque. Esta medida ayuda a controlar el flujo de personas en las zonas más sensibles, con el objetivo de reducir el impacto ambiental. Además, en la zona del South Rim, se utiliza un sistema de autobuses lanzadera para gestionar la distribución de visitantes, lo que contribuye a disminuir la congestión y el impacto sobre el entorno (National Park Service, 2024). Esto también ocurre en España, en algunas zonas costeras, para evitar la masificación de gente en las calas más pequeñas y con cierto grado de protección. Otros ejemplos serían el Parque Natural de les Illes Medes, el Montgrí y el Baix Ter en Girona (Generalitat de Catalunya, 2024), donde el acceso a las islas está restringido y controlado o la visita a las islas Cíes en Vigo (Xunta de Galicia, 2024), que también cuenta con limitación de acceso.

En el caso del PNCG, el control de aforo se reduce al número de personas por grupo y a la distancia de 10 minutos de entrada al barranco, limitación, que como se ha comprobado, está muy por encima de la capacidad de carga del ecosistema.

CONCLUSIONES

- El uso de un índice de vulnerabilidad permite tener en cuenta las características hidrogeomorfológica, la biodiversidad y el impacto producido por la actividad de forma ponderada.
- Se ha diseñado un índice de vulnerabilidad con 5 categorías de preocupación y su aplicación ha permitido clasificar el nivel de amenaza del barranquismo sobre cada cañón.
- Los barrancos que presentaron mayor vulnerabilidad dentro del PNSCG fueron Carruaca, Oscuros del Balcez y Peonera. Además, los que poseen una mayor diversidad, tanto de flora y fauna como de macroinvertebrados, son Oscuros de Balcez, Formiga y Mascún.
- El barranco Oscuros de Balcez, el segundo barranco más vulnerable, destaca por poseer mayor valor tanto en el índice de diversidad como en el de impacto.
- El cálculo de la capacidad de carga de un ecosistema es complejo y requiere, además de información sobre las características físicas y las limitaciones legales existentes, datos simultáneos de impacto en la comunidad y frecuentación.
- El límite de saturación de impacto de los barrancos del PNSCG se encuentra situado en torno a 100 personas al día.
- La frecuentación actual en muchos de los barrancos se encuentra muy próxima al 100% de impacto, particularmente en aquellos donde la afluencia diaria máxima supera los 100 deportistas.
- La legislación vigente permite el acceso de un elevado número de personas a los barrancos, siendo en algunos barrancos 3 veces mayor a la capacidad de carga estimada.
- La Peonera es el barranco que cuenta con una mayor capacidad física y, a la vez, con una mayor frecuentación.

RECOMENDACIONES

Para gestionar de forma más sostenible la actividad del barranquismo, se podría considerar regular el número de deportistas, teniendo en cuenta los datos de la capacidad de carga del ecosistema. Esto ayudaría a reducir el impacto generado en los barrancos, evitando alcanzar niveles de saturación que puedan dañar al ecosistema, y reduciendo el nivel de carga potencial.

Alguna de las medidas que se podrían aplicar son:

- Implementar un sistema de control de acceso y selección del día a realizar la actividad, siguiendo el ejemplo de otros parques naturales o nacionales, para lograr una distribución más homogénea a lo largo de la semana, intentando evitar una sobrecarga en los findes de semana o días festivos.
- Establecer periodos de “descanso” durante los cuales no se pudiesen descender algunos de los barrancos más frecuentados. Estas moratorias se podrían alternar de forma que no se perjudicase demasiado la actividad económica.
- Registrar el número de personas que acceden a los barrancos para poder relacionar la frecuentación con el impacto en la comunidad.
- Limitar ciertos recorridos con el fin de adecuar estos a las zonas donde el impacto que se genera es menor, debido a las características del barranco, como puede ser la anchura o el caudal del mismo. O adecuar según que tramos con pasarelas para evitar el pisoteo excesivo en zonas más vulnerables. Permitiendo que las zonas intermedias entre los distintos tramos actúen como viveros naturales para facilitar la recuperación de otras zonas más afectadas.
- Instalar paneles informativos al inicio de las rutas de barranquismo que destaquen la diversidad existente en cada barranco. Además, aprovechar el tiempo de espera entre grupos para concienciar a los deportistas sobre la importancia de conservar el entorno y proporcionarles pautas para reducir su impacto.

Además, en investigaciones futuras, sería recomendable llevar a cabo estudios con muestras más grandes, para poder evaluar de manera más precisa tanto la vulnerabilidad como la capacidad de carga de los barrancos del PNSCG.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, sin vuestro apoyo nada de esto hubiera sido posible, gracias por creer siempre en mí. A Tico, mi compañero de cuatro patas.

A mis compañeros y amigos, estos años de carrera a vuestro lado han sido maravillosos, gracias por estar ahí siempre.

A Rocío, mi tutora, gracias por dirigir este trabajo, por todo tu apoyo, y por tu dedicación, tanto en la dirección de este trabajo como en tu labor como docente, es un privilegio contar con profesoras tan comprometidas y apasionadas por su profesión.

Por último, gracias a todas las personas, que, de una manera u otra, han contribuido al desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Aniés, C. P. (2011). *La regulación de las actividades turísticas como elemento dinamizador de un espacio natural protegido: El Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara*. Documentos de Trabajo (Centro de Estudios sobre la Despoblación y Desarrollo de Áreas Rurales), 5.

Baigorri Gareta, C. (2020). *Impacto del Barranquismo en el río Formiga: evolución del Estado Ecológico y la Diversidad Funcional del 2013 al 2018 (Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, Huesca)*. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Borges, J. N., Carralero, I., y Rodríguez, A. M. (2014). Regulación de las actividades deportivas sin motor en los espacios naturales protegidos de Canarias. In *Investigación, gestión y técnica forestal, en la región de la Macaronesia* (pp. 273-287). Colegio de Ingenieros de Montes.

Carpenter, S. R., Fisher, S. G., Grimm, N. B., & Kitchell, J. F. (1992). *Global change and freshwater ecosystems*. Annual review of ecology and systematics, (23), 119-139.

Cifuentes, M. (1992). *Determinación de la capacidad de carga turística de áreas protegidas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Cuchí, J. A., Villaroel, J. L., y Salamero, E. (2010). Los ríos en roca en el Parque Natural de la Sierra y cañones de Guara. *Patrimonio geológico: los ríos en roca de la Península Ibérica*, 4, 249-268.

Del Monte-Luna, P., Brook, B. W., Zetina-Rejón, M. J., & Cruz-Escalona, V. H. (2004). The carrying capacity of ecosystems. *Global ecology and biogeography*, 13(6), 485-495.

Generalitat de Catalunya (2024). *Parc Natural de les Illes Medes. Xarxa de Parcs Naturals*. Gentcat. <https://parcsnaturals.gencat.cat/ca/xarxa-de-parcs/illes-medes/inici/>

Gimeno Lobera, M. (2020). *Evaluación del efecto del barranquismo en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos del río Mascún, perteneciente al Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara*. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Gobierno de Aragón (2011). *Biorregión mediterránea, 7220 manantiales petrificantes con formación de tuf (Cratoneurion)*. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio ambiente.

Gobierno de Aragón (2024). *Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara*. <https://www.aragon.es/-/parque-natural-de-la-sierra-y-canonnes-de-guara>

Gobierno de Aragón (2024). *Planificación y gestión de los espacios naturales protegidos*. <https://www.aragon.es/-/planificacion-y-gestion-de-los-espacios-naturales-protegidos>

Gobierno de Canarias (2010). *Parque Nacional Teide*. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <https://www.reservasparquesnacionales.es/real/ParquesNac/usu/html/detalle-actividad-oapn.aspx?cen=2&act=1>

Gómez-Limón García, J., y García Ventura, D. (2014). *Capacidad de acogida de uso público en los espacios naturales protegidos*. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OPAN).

Hardiman, N. y Burgin, S. (2003). *Visitor impact management in canyons of the Blue Mountains*. New South Wales.

Herrero, J., Prada, C., Salvado, A. y García-Serrano, A. 2005. *Diseño y puesta en funcionamiento del programa de seguimiento ecológico del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara*. Informe interno del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. Zaragoza.

International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/es>

Jenkins, T. (2016). *Canyoneering at Grand Canyon National Park: Monitoring pockets of wilderness in the canyon corridor*. Park Science, 33(1), 91–98. https://www.nps.gov/articles/parkscience33-1_91-98_jenkins_3863.htm

Lacosta Aragüés, A. J. (2002). Los deportes de aventura y su incidencia en el desarrollo turístico de un espacio protegido: el Parque Natural de los Cañones y la Sierra de Guara (Huesca). *Turismo y transformaciones urbanas en el siglo XXI*, 233-247. Universidad de Almería.

López-Flores, R. (2024). Caracterización ecológica de los barrancos del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales.

López-Flores, R., y Mota de Echeandía, D. (2022). Caracterización ecológica de los barrancos del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales.

López-Flores, R., y Mota de Echeandía, D. (2023). Caracterización ecológica de los barrancos del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales.

López-Flores, R., Mota de Echeandía, D., Gaspar, M., y Guzmán, D. (en prensa). Canyoning practice highly reduces macroinvertebrate abundance and simplifies the community structure.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2024). *Inventario Español de Especies Terrestres.*
<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres.html>

Moscoso, D. J., & Moyano Estrada, E. (2006). *Deporte y desarrollo rural*. Instituto Andaluz del Deporte.

Morcillo, S. G. (2022). *Turismo activo y desarrollo sostenible. Efectos de las actividades de turismo activo sobre la sostenibilidad y buenas prácticas para empresas y destinos. El caso de Mallorca* (Doctoral dissertation, Universitat de les Illes Balears).

National Park Service (2024). *Grand Canyon National Park*. National Park Arizona. <https://www.nps.gov/qrca/planyourvisit/basicinfo.htm>

Ollero Ojeda, A., Auría Izquierdo, V., Ballarín Ferrer, D., Echeverría Arnedo M. T., Mora Mur, D., and Sánchez Fabre, M. (2010). Determinación del estado ecológico de los ríos del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara.

Open Canyon (2024) Cañones en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara (PNSCG). Canyoning Database.
<https://www.opencanyon.org/es/region/e78e6339-c469-4072-af9f-e3077c43fa3c>

Pérez Pascual, M. L., y López Flores, R (2018). Evaluación del impacto del barranquismo y la resiliencia de las comunidades acuáticas en un torrente del Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. *Lucas Mallada*, 20, 179-218.

Red Natural de Aragón (2021). *Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara*. Gobierno de Aragón. <https://www.rednaturaldearagon.com/parque-natural-de-la-sierra-y-canones-de-guara/>

Red Natural de Aragón (2023). *¿Qué normativa debo seguir para el descenso de barrancos en Guara?*. Gobierno de Aragón.
<https://www.rednaturaldearagon.com/que-normativa-debo-seguir-para-el-descenso-de-barrancos-en-guara/>

Rodríguez, D. R. (2009). Mitigación de los impactos del turismo en espacios naturales protegidos y mejora de su financiación a través de medidas económicas. El caso de la Comunidad de Madrid. *Boletín de la asociación De Geógrafos Españoles*.

Sasot Escorihuela, L. (2018). *Efectos del barranquismo sobre las comunidades acuáticas y su capacidad de recuperación en el río Formiga en el Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara, Huesca*. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Sierra Gros, J. y López Flores, R (2013). *Efecto del barranquismo sobre los macroinvertebrados acuáticos y su recuperación en el río Formiga (Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, Huesca)*. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Stendera, S., Adrian, R., Bonada, N., Cañedo-Argüelles, M., Hugueny, B., Januschke, K., Pletterbauer, F., y Hering, D. (2012). *Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: a review*. *Hydrobiologia*, 696, 1-28.

Wang, X. (2010). Research review of the ecological carrying capacity. *Journal of sustainable development*, 3(3), 263.

Xunta de Galicia (2024). *Parque Nacional Marítimo-Terrestre das Illas Atlánticas de Galicia: Archipiélago de Cíes*. <https://illasatlanticas.gal/es/visita-el-parque/visita-ci>

ANEXOS

Anexo I.

Datos utilizados en el cálculo del Índice de diversidad de macroinvertebrados.

	Riqueza	%EPT
PAL JUL 21	13	46,15
PAL JUL 21	5	40,00
PAL JUL 21	7	57,14
CAR AUG 20	7	57,14
CAR AUG 20	16	43,75
CAR AUG 20	19	36,84
VER AUG 19	6	33,33
VER AUG 19	6	33,33
VER AUG 19	11	27,27
VER AUG 23	9	44,44
VER AUG 23	6	50,00
VER AUG 23	7	42,86
BAL A AUG 19	19	47,37
BAL A AUG 19	11	27,27
BAL A AUG 19	11	54,55
BAL C AUG 19	18	50,00
BAL C AUG 19	21	47,62
BAL C AUG 19	13	38,46
PEO 23	9	55,56
PEO 23	10	50,00
PEO 23	9	44,44
MAS SEP 18	18	55,56
MAS SEP 18	9	66,67
MAS SEP 18	13	69,23
MAS23	8	62,50
MAS23	10	70,00
MAS23	4	50,00
FOR B SEP 22	17	47,06
FOR B SEP 22	7	42,86
FOR B SEP 22	15	40,00
GN OCT 22	11	27,27
GN OCT 22	10	50,00
GN OCT 22	7	57,14

Anexo II.

Matriz de correlaciones de los índices biológicos.

	Total individuos	EPT	%EPT	OCH	ratio ept/och	ab tricop	IBMWP	IASPT	Taxa_S	Individuals	Dominance_D	Simpson_1-D	Shannon_H	Margalef
Total individuos		2,61E-08	0,85	6,66E-08	0,91186	3,59E-18	4,24E-10	0,72617	3,94E-13	0	0,13124	0,13124	0,016433	0,00053419
Total familias	0,72882	1,38E-22	0,45095	6,77E-14	0,85631	0,00015202	1,92E-45	0,063946	0	3,94E-13	6,42E-06	6,42E-06	9,97E-11	1,27E-20
EPT	0,59963		1,17E-06	1,46E-05	0,0044543	0,013212	8,74E-29	0,00019321	1,38E-22	2,61E-08	0,00011003	0,00011003	2,39E-08	6,79E-13
%EPT	0,022682	0,53685		0,11832	7,86E-12	0,65594	0,063609	2,68E-07	0,45095	0,85	0,94806	0,94806	0,54565	0,62997
OCH	0,58533	0,4867	-0,18571		0,0001022	0,00067288	3,09E-12	0,10747	6,77E-14	6,66E-08	0,0032019	0,0032019	7,40E-05	2,36E-08
ratio ept/och	-0,013276	0,33145	0,69991	-0,44182		0,6499	0,5162	0,22637	0,85631	0,91186	0,99803	0,99804	0,68463	0,98506
ab tricop	0,81392	0,29078	-0,053403	0,39147	-0,054405		0,0050751	0,49892	0,00015202	3,59E-18	0,1839	0,1839	0,11086	0,056512
IBMWP	0,65524	0,9119	0,21977	0,7093	0,077755	0,32684		0,00040886	1,92E-45	4,24E-10	1,60E-05	1,60E-05	3,95E-10	1,25E-19
IASPT	0,041991	0,42567	0,56272	0,1913	0,14435	-0,080975	0,40557		0,063946	0,72617	0,46325	0,46326	0,1788	0,035241
Simpson_1-D	0,17956	0,43999	0,0078135	0,34279	-0,00029522	0,15839	0,48463	0,087813	0,50387	0,17956	-1		5,27E-39	1,17E-13
Shannon_H	0,28192	0,60093	0,07239	0,44971	0,048689	0,1895	0,6561	0,16022	0,67236	0,28192	-0,95598	0,95598		2,43E-22
Margalef	0,39808	0,72381	0,057741	0,60112	-0,0022454	0,22579	0,83255	0,24859	0,84406	0,39808	-0,73961	0,73961	0,862	

Anexo III.

Análisis de componentes principales.

PC	Eigenvalue	% variance
1	3,10	71,41
2	0,55	12,77
3	0,33	7,49
4	0,25	5,68
5	0,09	2,05
6	0,02	0,46
7	0,01	0,12
8	0,01	0,02
9	0,01	0,01

Anexo IV.

Datos obtenidos del PC1 y normalización entre 0 y 1 utilizados en el índice de impacto.

	Control o afectado	PC 1	Normalizado (0-1)
PAL	trampled	-1,30	0,20
PAL	trampled	-2,68	0,05
PAL	trampled	-0,60	0,28
CAR	trampled	-0,74	0,26
CAR	trampled	0,03	0,35
CAR	trampled	-1,36	0,19
CAR	trampled	-1,70	0,16
CAR	trampled	-2,26	0,09
CAR	trampled	-0,63	0,28
VER	trampled	-1,39	0,19
VER	trampled	-0,42	0,30
VER	trampled	-1,02	0,23
VER23	trampled	0,20	0,37
VER23	trampled	-0,99	0,24
VER23	trampled	-0,58	0,28
BAL	trampled	-1,49	0,18
BAL	trampled	-3,09	0,00
BAL	trampled	-0,57	0,28
MAS	trampled	0,56	0,41
MAS	trampled	1,14	0,47
MAS	trampled	0,45	0,40
MASS	trampled	0,05	0,35
MASS	trampled	-1,11	0,22
MASS	trampled	0,16	0,36
MAS23	trampled	-0,58	0,28
MAS23	trampled	-0,38	0,30

	Control o afectado	PC 1	Normalizado (0-1)
MAS23	trampled	-1,56	0,17
FOR	trampled	-1,94	0,13
FOR	trampled	-2,27	0,09
FOR	trampled	-1,54	0,17
FOR	trampled	0,66	0,42
FOR	trampled	-0,34	0,31
FOR	trampled	-2,16	0,10
GN	trampled	-0,18	0,33
GN	trampled	0,01	0,35
GN	trampled	-1,39	0,19
PEO23	trampled	-1,39	0,19
PEO23	trampled	-1,42	0,19
PEO23	trampled	-1,05	0,23
PAL JUL 21	control	1,20	0,48
PAL JUL 21	control	-1,18	0,21
PAL JUL 21	control	-0,16	0,33
CAR AUG 20	control	-0,54	0,29
CAR AUG 20	control	5,81	1,00
CAR AUG 20	control	5,85	1,00
VER AUG 19	control	-1,27	0,20
VER AUG 19	control	-0,94	0,24
VER AUG 19	control	0,04	0,35
VER AUG 23	control	-0,46	0,29
VER AUG 23	control	-1,15	0,22
VER AUG 23	control	0,22	0,37
BAL A AUG 19	control	2,73	0,65
BAL A AUG 19	control	1,17	0,48
BAL A AUG 19	control	1,06	0,46
BAL C AUG 19	control	3,96	0,79
BAL C AUG 19	control	4,19	0,81
BAL C AUG 19	control	2,35	0,61
PEO 23	control	-0,79	0,26
PEO 23	control	0,34	0,38
PEO 23	control	0,38	0,39
MAS SEP 18	control	3,14	0,70
MAS SEP 18	control	1,17	0,48
MAS SEP 18	control	1,52	0,52
MAS23	control	0,46	0,40
MAS23	control	1,47	0,51
MAS23	control	-0,57	0,28
FOR B SEP 22	control	2,57	0,63
FOR B SEP 22	control	-1,17	0,22
FOR B SEP 22	control	2,06	0,58

	Control o afectado	PC 1	Normalizado (0-1)
GN CONTROL OCT 22	control	0,13	0,36
GN CONTROL OCT 22	control	0,50	0,40
GN CONTROL OCT 22	control	0,76	0,43

Anexo V.

Datos de Bankfull, de Ollero Ojeda et al. 2010, utilizados para el cálculo del HGM.

	Bankfull Depth	Profundidad normalizada	Bankfull Discharge	Caudal normalizado
Oscuros del Balcez	1	12,70	42,60	25
Carruaca	0,58	4,10	4,17	0
Formiga	1,60	25	29,30	16,35
Gorgas Negras	0,38	0	18,02	9,01
Mascún	0,80	8,61	28,20	15,63
Palomeras	0,70	6,56	9,70	3,60
Peonera	0,80	8,61	12,65	5,52
Vero	1,36	20,08	13,50	6,07

Anexo VI.

Cálculo pérdida de abundancia a partir de los datos de las campañas de muestreo realizadas entre 2018 y 2023.

	Control o afectada	Abundancia
PAL JUL 21	control	161
PAL JUL 21	control	36
PAL JUL 21	control	66
CAR AUG 20	control	17
CAR AUG 20	control	1250
CAR AUG 20	control	989
VER AUG 19	control	27
VER AUG 19	control	21
VER AUG 19	control	162
VER AUG 23	control	65
VER AUG 24	control	25
VER AUG 25	control	69
BAL A AUG 19	control	240
BAL A AUG 19	control	151
BAL A AUG 19	control	135
BAL C AUG 19	control	742
BAL C AUG 19	control	649
BAL C AUG 19	control	251
MAS23	control	154

	Control o afectada	Abundancia
MAS23	control	247
MAS23	control	107
FOR B SEP 22	control	406
FOR B SEP 22	control	24
FOR B SEP 22	control	418
GN CONTROL OCT 22	control	72
GN CONTROL OCT 22	control	82
GN CONTROL OCT 22	control	40
PEO 23	control	36
PEO 23	control	234
PEO 23	control	250
PAL	trampled	28
PAL	trampled	3
PAL	trampled	38
CAR	trampled	95
CAR	trampled	69
CAR	trampled	50
CAR	trampled	16
CAR	trampled	14
CAR	trampled	78
VER	trampled	9
VER	trampled	71
VER	trampled	40
VER23	trampled	75
VER23	trampled	37
VER23	trampled	67
BAL	trampled	16
BAL	trampled	5
BAL	trampled	69
MAS23	trampled	85
MAS23	trampled	108
MAS23	trampled	28
FOR	trampled	7
FOR	trampled	5
FOR	trampled	16
FOR	trampled	57
FOR	trampled	99
FOR	trampled	11
GN	trampled	42
GN	trampled	48
GN	trampled	34

	Control o afectada	Abundancia
PEO23	trampled	20
PEO23	trampled	17
PEO23	trampled	31