

EFFECTOS AMBIENTALES DE LAS ACTIVIDADES RECREATIVAS EN UN ÁREA PERIURBANA PROPUESTA PARA SU PROTECCIÓN: LOMO RIQUIÁNEZ (GRAN CANARIA, ESPAÑA)

EMILIO MEDINA LORENZO¹
LEVÍ GARCÍA-ROMERO (id)²
EMMA PÉREZ CHACÓN ESPINO(id)²

¹Graduado en Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

²Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente, Instituto de Oceanografía y Cambio Global, IOGAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ULPGC. Calle Pérez del Toro, 1, 35003 Las Palmas de Gran Canaria

Autor de correspondencia: emilio.medina103@alu.ulpgc.es

Resumen. La práctica de actividades lúdico-deportivas en espacios naturales se ha incrementado en las últimas décadas. El objetivo de este trabajo consiste en analizar la distribución espacial de los efectos ambientales de estas actividades en el sustrato y su relación con las variables fisiográficas. El área de estudio elegida es una zona periurbana propuesta para su declaración como espacio natural protegido. La metodología utilizada aplica un enfoque multiescalar, que combina el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la toma de datos mediante muestreo de campo sistematizado. A partir de dos vuelos LiDAR, se estimó el balance sedimentario experimentado en el área de estudio para el periodo 2009-2015, y a partir de la superposición de la red digitalizada de senderos se analizó la relación entre la distribución de los caminos y distintas variables eco-antrópicas. En 2,91 km² se cartografiaron 50,2 km de senderos y más de 1500 bifurcaciones. Se determinó la relación espacial entre los valores de pérdidas de suelos con la existencia de sendas, así como la influencia de la proximidad a las zonas urbanas y la pendiente con la densidad de senderos, la presencia de bifurcaciones y la incisión detectada en ellos en función de los usos actuales.

Palabras clave: senderos, periurbano, impacto ambiental, erosión, SIG, LiDAR.

ENVIRONMENTAL EFFECTS OF RECREATIONAL ACTIVITIES IN A PERIURBAN AREA PROPOSED FOR ITS PROTECTION: LOMO RIQUIÁNEZ (GRAN CANARIA, SPAIN)

Abstract. The practice of recreational-sports activities in natural spaces has increased during the last decades. The aim of this study is to analyze the spatial distribution of the environmental effects of these activities on the substrate and its relationship with physiographic variables. The chosen study area is a peri-urban space proposed for its declaration as a protected natural area. The methodology used applies a multi-scale approach, which combines the use of Geographic Information Systems (GIS) with data collection through systematic field sampling. From two LiDAR coverages, for the years 2009 and 2015, the sedimentary balance experienced in the study area was estimated. The relationship between the distribution of trails and different ecoanthropic variables was analyzed by overlapping the digitized trail network on different digital terrain models and historical orthophoto. 50.2 km of trails and more than 1,500 crossings were mapped within 2.91 km². The spatial relationship between the values of soil losses with the existence of paths was determined, as well as the influence of the proximity to urban areas and the slope with the density of paths, the presence of bifurcations and the incision detected in the trails based on current usage.

Keywords: trails, periurban, environmental impact, erosion, GIS, LiDAR.

1. INTRODUCCIÓN

La práctica de actividades de ocio y deportivas en la naturaleza se ha generalizado e intensificado en las últimas décadas (Schamel, 2017; Rice *et al.*, 2020; Schnitzer *et al.*, 2020; Venter *et al.*, 2020). El incremento de la presión que estas actividades producen en los espacios naturales (Hammit y Cole, 1998) se manifiesta, entre otras perturbaciones, en su impacto sobre los suelos (Rebolledo, 2019). El tipo y la magnitud de éstos es mayor si se incorporan otros tipos de actividades de aparición más reciente, tales como la circulación en bicicleta de montaña, motocross, quads, etc. Son abundantes los estudios que se centran en los efectos del senderismo y otras actividades lúdico-deportivas en áreas de montaña (Boschi y Torre, 2002; Lynn y Brown, 2003). En un intento de aproximación a una clasificación de los impactos según el tipo de actividad, Pickering *et al.* (2010) y Wilson y Seney (1994) distinguen entre los volúmenes de pérdida de suelo y otros impactos biofísicos producidos en el sustrato. Si bien los citados autores han tratado de establecer diferencias entre actividades, se vislumbra una serie de convergencias en cuanto al tipo de afecciones sobre el sustrato, derivadas de la práctica de estas actividades.

Farías y Sallent (2015) establecen como impactos ambientales genéricos para este tipo de actividades los que afectan a la vegetación, a la fauna, al agua y a los suelos. Sobre este último factor ambiental, dichos autores sugieren una serie de indicadores de alarma tales como la aparición de atajos y cruces, las ampliaciones puntuales del trazado principal, así como la aparición de incisiones donde la pérdida de suelo supera los 10 cm de profundidad. En este sentido, se han realizado experimentos sobre las alteraciones inducidas en los suelos por la circulación de mountain-bikes (Martin y Butler, 2021; Salesa *et al.*, 2019) así como en la vegetación (Martin *et al.*, 2018). En la mayoría de los casos, estos trabajos coinciden al señalar que los principales efectos se manifiestan en la desaparición de la cobertura vegetal, la incisión a lo largo del itinerario y en la ampliación de las sendas existentes.

Hammit y Cole (1998) establecen las fases principales identificables en el proceso de erosión del suelo inducido por el tránsito sobre el sustrato, que van desde la desaparición de la capa de materia orgánica, pasando por la compactación de los suelos, hasta las fases más graves que se manifiestan por la formación de escorrentías superficiales y la aparición de incisiones y cárcavas, formas erosivas consideradas críticas dada su irreversibilidad. Además, en zonas con relieves accidentados, el agua de lluvia es canalizada por los senderos, de manera que se llega a modificar la red de drenaje que controla la escorrentía local (Gómez-Limón, 1996).

El uso más intensivo de estos espacios, así como la incorporación de un público más heterogéneo a las actividades en el medio natural, dan también lugar a alteraciones de la red de itinerarios, tales como la aparición de senderos alternativos, de atajos o de ampliaciones puntuales del trazado principal. Estos efectos se explican por la circulación en paralelo, en el caso de senderistas o jinetes, o por el exceso de velocidad, en el caso de que la actividad se lleve a cabo mediante vehículos tales como bicicletas o ciclomotores (Farías y Sallent, 2015). Sobre este aspecto, cabe mencionar que es a lo largo del primer año, tras la aparición y utilización de una nueva ruta, cuando se genera el mayor volumen de impacto (Leung y Marion, 1996).

Son diversas las metodologías propuestas para ofrecer una aproximación a la valoración de los impactos ambientales producidos en el sustrato derivados de las actividades de ocio. Se han establecido indicadores, tales como el porcentaje lineal de senderos alternativos por tramo de itinerario, o el número de tramos con evidentes niveles de erosión (evaluados a partir de pérdidas superiores a los 10 cm. de profundidad) en función de la longitud total del itinerario (Torbidoni y Sallent, 2015). En el ámbito nacional, Salesa *et al.* (2019) pusieron en práctica una metodología para medir la pérdida de suelos que se produce a lo largo de distintos tramos de senderos. Dicha metodología se basó en la obtención de datos de incisión a lo largo de transectos perpendiculares al recorrido del trazado, a partir de procedimientos previamente probados por otros autores (Cole, 1983; Olive y Marion, 2009; Cao *et al.*, 2014; Esque *et al.*, 2016). Si bien la mayoría de los experimentos llevados a cabo para evaluar los efectos del uso de los senderos han tenido lugar en áreas de clima templado, son escasos aquellos que han puesto su foco en áreas con características climáticas de tipo mediterráneo (Salesa *et al.*, 2019).

En este contexto, el objetivo general de este trabajo consiste en realizar una primera aproximación al estudio de las consecuencias ambientales de las actividades recreativo-deportivas en un espacio natural periurbano de la isla de Gran Canaria, centrado en el estudio de los efectos de estas actividades en la erosión del suelo que se produce en los senderos. En paralelo, se pretende explorar la potencialidad del uso de tecnologías de la información geográfica para el muestreo y monitoreo de los senderos en la zona

de estudio aplicando un enfoque metodológico multiescalar. Finalmente, con esta investigación también se pretende obtener información que resulte útil para la gestión sostenible del uso recreativo/deportivo en el espacio estudiado.

2. METODOLOGÍA

El planteamiento metodológico consideró dos escalas para aproximarse a la problemática. Una general, que abarca totalmente la zona de estudio, mediante el uso de SIG para la obtención de información espacial a través de distintas técnicas de edición, análisis y modelización. Para ello, se cartografió la red de senderos existentes en el ámbito de estudio, con la inclusión de atajos, y se recurrió a las dos coberturas LiDAR disponibles para la zona de estudio (2009 y 2015) para elaborar y comparar sendos modelos digitales del terreno (MDT) mediante la generación de un Modelo Digital de Diferencias (MDD). Con los resultados de esta comparación se analizó la influencia de variables en la erosión de los senderos tales como la pendiente y la orientación. También se recurrió a la superposición de la red actual de senderos sobre la ortofoto más antigua disponible (vuelo de 1951-57), a fin de determinar qué tramos se correspondían con itinerarios tradicionales y cuáles son de aparición reciente. Por lo que respecta a la escala de detalle, se seleccionó un sendero tipo, considerando criterios tales como la tipología del firme, la conectividad que ofrece y su señalización, y se estableció, a lo largo del itinerario seleccionado, una muestra sistemática de 26 parcelas, de 25 m², distanciadas cada 100 m de distancia, en las que se recopilaron datos en campañas de campo. Mediante una adaptación de la metodología empleada por Salesa *et al.* (2019), se dispusieron sobre dichas parcelas 5 transectos cada 1,25 m, a lo largo de los cuales se midió la profundidad del sendero cada 1,25 m. También se midió el ancho del camino en ambos extremos y en el centro de la parcela, y se anotó información correspondiente a distintos atributos tales como las características del firme, la presencia de cruces, afecciones en la vegetación, y el tipo de formas erosivas identificadas en el interior de la parcela.

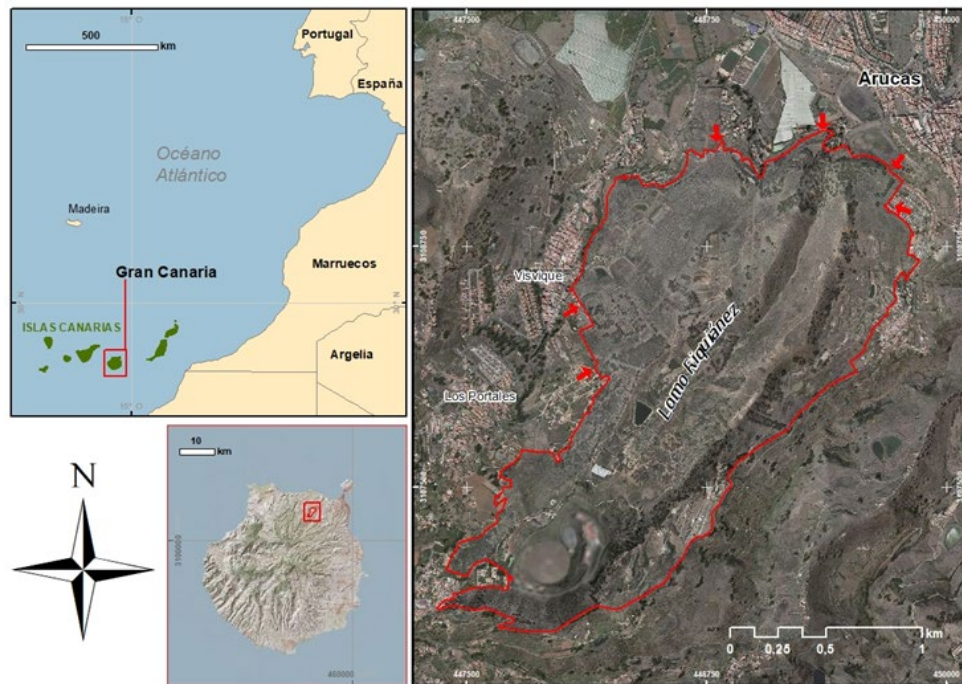
Las variables eco-antrópicas tales como la pendiente, el tipo de geoforma, la orientación, la presencia de cruces, las formas erosivas observadas según su gravedad (Hammit y Cole, 1998) y la antigüedad del sendero, junto a los valores obtenidos de la medición de la incisión del sendero y su anchura en los tramos muestreados, se analizaron estadísticamente mediante correlación bivariada por el método Pearson, para las variables cuantitativas, y mediante el método Spearman, para las variables cualitativas.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El ámbito escogido para la realización del presente estudio ha sido el Lomo Riquiáñez, en la isla de Gran Canaria (islas Canarias). Se trata de un interfluvio alomado con orientación SO-NE, y un rango de altitudes que van desde los 230 m en su base hasta los 600 m en el cono volcánico que lo corona. El relieve está recortado por vertientes pronunciadas que, en varios sectores, alcanzan categoría de escarpe. Dadas las características litológicas del área, el sustrato detrítico se encuentra frecuentemente interrumpido por afloramientos rocosos. En lo que respecta a las condiciones climáticas, el régimen termopluviométrico de esta zona la sitúa entre los climas de tipo semiárido según la clasificación de Thornthwaite (Sánchez *et al.*, 1996: 351), de carácter mesotérmico con un régimen de precipitaciones inferior a 450 mm anuales y una temperatura media anual en el entorno de 18° C. La zona superior del lomo se encuentra ocupada por una comunidad de brezal macaronésico en cuyo estrato herbáceo domina una capa de musgos y líquenes continua que se interrumpe en las laderas con orientación E-SE, pero alcanza cotas bajas en las laderas septentrionales, donde va dando paso a una cobertura de matorral xerotermófilo y de herbáceas anuales.

En cuanto al desarrollo urbano, en la base del lomo se extiende una trama urbana casi continua por el flanco norte, donde se encuentra el núcleo más importante (Arucas). Por el flanco oeste del relieve predomina el poblamiento diseminado. La proximidad del Lomo Riquiáñez a estos núcleos urbanos, junto a su alto grado de naturalidad y su fácil accesibilidad explican que resulte un espacio atractivo para la realización de actividades de tipo recreativo. Entre ellas, destacan las siguientes: paseos y senderismo, carreras de montaña, tránsito con mountain-bikes y la circulación con motocicletas de cross. Dicha realidad explica los dos procesos que caracterizan la dinámica de su paisaje actual: los procesos de regeneración natural, por una parte y, por otra, la generalización del uso recreativo-deportivo y sus impactos.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuentes: autoría propia. Mapas base: GRAFCAN.

4. RESULTADOS

Los resultados se ofrecen desglosados, en función de las distintas escalas de análisis y las metodologías empleadas en cada una de ellas.

4.1. Características generales de los senderos. Análisis espaciotemporal mediante SIG

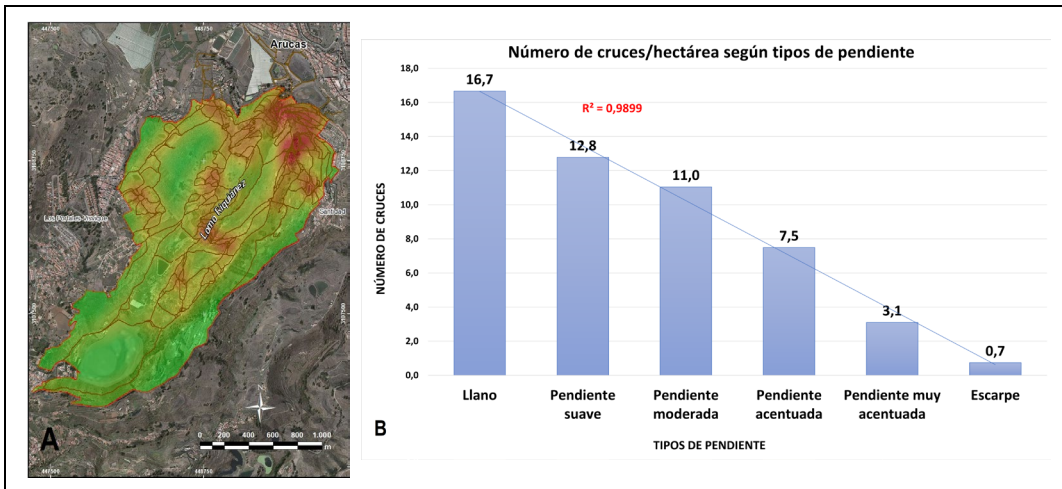
En este apartado se caracteriza la red de senderos y la distribución de las áreas con pérdida de suelos, cuyos datos se derivan de los análisis espaciales llevados a cabo en entornos SIG.

4.1.1 Organización de la red de senderos

El cálculo de la longitud total del conjunto de sendas y pistas cartografiadas arrojó que, en el interior del área correspondiente a la delimitación propuesta para su declaración como espacio natural protegido (311,25 ha), existe un total de 50,2 km de itinerarios. A partir de la media del ancho de los senderos, obtenida de los datos del muestreo de campo, se estima que un 4,7 % de la superficie total del área de estudio está afectada por senderos. El análisis de densidad de Kernel aplicado a las polilíneas correspondientes a la cartografía de los itinerarios (Figura 2, mapa) confirmó que la mayor densidad de sendas se da en las zonas próximas a los accesos desde el área urbana, así como en las zonas de menor pendiente.

Se obtuvo un total de 1.561 cruces en los senderos, distribuidos en un área de 311 hectáreas, lo que arroja un promedio de 5,6 cruces por hectárea. También se obtuvo una tendencia lineal con regresión (R^2 : 0,9899) entre el número de cruces por ha en función de los valores de pendiente (Figura 2, gráfico), siendo ese número mayor cuanto menor es la pendiente.

Figura 2. Análisis espacial de los caminos y cruces detectados. A: densidad de caminos. B: número de cruces / ha según intervalos de pendiente

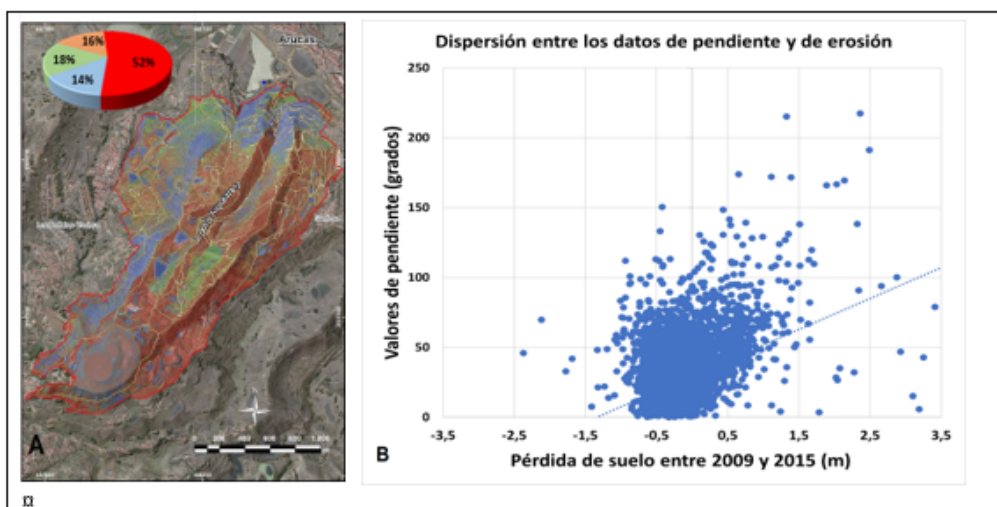


Leyenda del mapa. Tonos cálidos: áreas con mayor densidad de senderos por m²; tonos verdes: áreas con menor densidad de senderos por m². Fuente: elaboración propia. Ortofoto: Grafcan, 2021.

4.1.2. Distribución espacial de las pérdidas de suelos

Los resultados obtenidos en el MDD se reclasificaron según valores de pérdida o de ganancia sedimentaria para el periodo 2009-2015. Se observó un patrón tendente a la acumulación de sedimentos en las laderas de orientación N-NO, mientras que en zonas orientadas al S-SE el balance sedimentario fue deficitario. No obstante, en aquellas áreas en las que el balance sedimentario fue positivo, se comprobó cómo, a partir de la superposición de la red de senderos, las celdas coincidentes con los caminos tenían valores negativos (Figura 3, mapa). Se generó un área de influencia de 2,6 m para las polilíneas correspondientes a los senderos, valor medio obtenido en las campañas de campo. Dicha área de influencia se utilizó como máscara para la extracción de los valores de píxel del MDD. De este análisis se obtuvo que en más de 77.000 m² se produjeron pérdidas de suelo en las áreas coincidentes con los senderos, y que la profundidad del sendero superó los 20 cm en el periodo 2009-2015 en más de 59.000 m² (Figura 3, gráfico).

Figura 3. A: modelo de diferencias reclasificado con la red de senderos superpuesta y gráfico con distribución porcentual de área de senderos según intervalos de valores de pérdida de suelos. B: diagrama de dispersión para los datos valores de pérdida de suelos y de pendientes



Leyenda. Rojo: pérdidas superiores a 20 cm; naranja: pérdidas entre 10 y 20 cm; verde: equilibrio entre pérdidas y ganancias; azul: acumulación de más de 10 cm. Fuente: elaboración propia a partir de datos de SITCAN

A partir de los vértices de la capa de polilíneas correspondientes a los senderos se generó una capa de 8814 puntos, que fueron utilizados para la extracción de los valores de las distintas variables fisiográficas contempladas y los de pérdidas de suelo obtenidos del MDD. Se realizaron análisis de dispersión comparando los valores de pérdida de suelo con las variables contempladas, de lo que se obtuvo una mayor concentración de los valores al comparar la variable pendiente (Figura 3, gráfico de dispersión).

4.2. Comportamiento erosivo de un sendero utilizado como área piloto

Se muestrearon 26 parcelas de manera sistemática, en las que se recogieron datos cuantitativos, relativos a las medidas de profundidad (256 datos) y al ancho (78 datos) de los senderos a lo largo de los transectos perpendiculares al trazado de las sendas, así como datos cualitativos, referentes a la fisiografía, la antigüedad del tramo, la coincidencia con cruces de caminos, las formas erosivas apreciadas, afecciones a la vegetación e impactos sobre el lecho rocoso.

Se observó que, en todas las parcelas, se han alcanzado las fases críticas relacionadas con la erosión según la literatura revisada: 16 de las 26 parcelas se encuentran en la categoría de los valores máximos, 4 parcelas en el segundo valor más elevado, mientras que en 6 parcelas se observaron procesos que se corresponderían con la cuarta fase más elevada en una escala de 7. También se comprobó que en más de dos tercios de las parcelas muestreadas no crece vegetación en el tramo del sendero, mientras que en un 31% de las parcelas la única cobertura vegetal se limita a pequeñas islas de vegetación en el estrato herbáceo, o bien a individuos de porte subarborescente o arbustivo aislados en el interior del camino. En el 65% de las parcelas en las que existían afloramientos rocosos se observaron fracturas e incisiones en el sustrato lítico.

A partir de dichos datos y con los valores del MDD correspondientes al área de las parcelas, mediante análisis de correlación bivariada por el método Spearman, se hallaron elevadas significancias entre los tipos de pendiente y los valores de incisión, con un 0,583 de coeficiente de correlación (cc) positiva, así como correlaciones negativas entre la pendiente y la presencia de cruces en las parcelas (cc negativa - 0,400). También se obtuvieron correlaciones entre la orientación de las laderas y los valores de pérdida de suelos medidos, siendo mayores en las vertientes con orientación S-SE (cc: 0,440). Por el contrario, no se halló correlación entre los valores de incisión y la antigüedad de los senderos según la fotointerpretación de las ortofotos antiguas.

Tabla 1. Principales correlaciones bivariadas y significancias

	Pendiente máxima / profundidad media	Profundidad máxima / pendiente media	Erosión media / pendiente máxima	Orientación / pérdida de suelos	Anchura / pendiente	Pendiente / cruces
Coefficiente de correlación (cc)	0,643	0,487	0,582	0,443	-0,545	0,405
Significancia	0,000	0,012	0,002	0,023	0,006	0,040

Fuente: Elaboración propia

Mediante el método Pearson se correlacionaron las variables de pendientes medias, profundidades del sendero medias y máximas, anchuras del sendero en las tres medidas obtenidas en el centro y en ambos extremos de las parcelas y su media, valores de la erosión estimada mínimos, medios y máximos, sus y sus volúmenes. Se detectó que la profundidad máxima se correlaciona positivamente con los valores de pendientes medias (cc: 0,487) y máximas (cc: 0,477), pero que existe aún una mayor correlación positiva entre las profundidades medias para el total de las parcelas y las pendientes medias (correlación positiva con coeficiente de 0,582) y máximas (coeficiente de 0,643). De igual forma, los valores de erosión media se correlacionan positivamente con los valores pendiente media (cc: 0,449). En cuanto a la anchura de los senderos, se establece en todos los casos una correlación negativa con respecto a los valores de erosión obtenidos del MDD, con las mayores significancias para los valores de erosión máxima (cc: -0,545), de lo que se extrae que, a mayor anchura del sendero, menor valor de erosión obtenido para esa parcela.

5. DISCUSIÓN

La importancia de los resultados de este estudio radica en que se ha podido realizar una primera aproximación a una cuestión aún poco estudiada en Canarias, como es la problemática vinculada a la proliferación de sendas de uso recreativo-deportivo en un ámbito periurbano con un alto grado de naturalidad. Las áreas ocupadas por los senderos muestran, a escala local, el mayor incremento de pérdida de suelos detectado, efecto erosivo que es inducido por el uso de los caminos, pues el pisoteo los mantiene despojados de cobertura vegetal y supone la remoción del sustrato sedimentario, principales efectos identificados por Pickering *et al.* (2010). En este sentido, es preciso incidir en el hecho de que, en más de dos tercios de los caminos muestreados, el interior del sendero se encontraba totalmente exento de vegetación, mientras que en el 31% de parcelas en las que se anotó presencia vegetal, esta estaba constituida por pequeños rodales protegidos por salientes rocosos, o bien por ejemplares que han quedado aislados en el interior del trazado del camino. La extensión del tapiz de líquenes que crecen en el sustrato es fragmentada únicamente en aquellos tramos por los que discurren las sendas. A este respecto, numerosos autores han otorgado mayor importancia a las diferencias de anchura de los caminos que a las profundidades de incisión, y a la manera en la que estas dimensiones varían en función de distintos factores (Olive y Marion, 2009). Asimismo, la presencia de cruces se vincula con la creación de vías alternativas por parte de los usuarios del espacio (Farías y Sallent, 2015). Este análisis permitió comprobar que existe una proporción lineal, con un elevado grado de significancia, entre la existencia de bifurcaciones y los valores de pendiente. De ello se obtiene que existe una mayor propensión a la generación de vías alternativas en las zonas llanas, tendencia que se reduce conforme se incrementa la pendiente. Esta relación podría entenderse la relación de estas zonas con aquellas que reciben una mayor afluencia de visitantes, dada su facilidad de acceso, tal y como revelan algunos estudios (Andrés-Abellán *et al.*, 2005). Por otra parte, las pendientes dificultan la acción de tránsito campo a través, cuestión que se ve favorecida conforme disminuye la pendiente. Por su parte el análisis de densidad de Kernel demostró que la mayor densidad de líneas, correspondientes a las sendas, dentro del ámbito de estudio, se produce en el contacto del área de análisis con las áreas pobladas, así como en las superficies más llanas de la zona alta del lomo. En este sentido, Farías y Sallent (2015) asocian a la falta de planificación y a las carencias en lo que respecta a la adecuación de zonas de acceso, la aparición de efectos tales como el impacto visual asociado a la proliferación de itinerarios utilizados.

Al reclasificar el MDD en cuatro niveles de pérdida de suelo, se detectó un patrón general que mostró una mayor tendencia a la pérdida de material en las pendientes orientadas hacia el SE, mientras que, por el contrario, el patrón fue principalmente tendente a la acumulación en las laderas orientadas hacia el N-NO. Estas diferencias pueden deberse a las variaciones de la cobertura vegetal según la orientación, aspecto bastante contrastado en el ámbito de estudio. La cobertura vegetal más exigua y carente de musgos sobre el sustrato de las laderas orientadas hacia el sureste puede propiciar que, en esas zonas, la pérdida de suelo sea mayor, mientras que, en las zonas en las que ese tapiz es continuo, se reduce el efecto del splash y se minimiza la escorrentía. La obtención de los valores de pérdidas para el espacio de los senderos demostró que, a lo largo de sus trazados, las superficies con balances sedimentarios negativos superan con diferencia a las que presentan equilibrio o acumulación, estas últimas mayoritariamente en laderas orientadas hacia el N-NO y, frecuentemente, en tramos que discurren sobre pistas u otros espacios transformados por estructuras antrópicas.

El método de obtención de datos de campo utilizado en este estudio, propuesto por otros autores para medir volúmenes de erosión en trazados con corte en V (Salesa *et al.*, 2019), se mostró útil a la hora de poner en práctica un procedimiento sistemático de toma de datos de incisión en el sustrato. Sin embargo, la abundante presencia de afloramientos rocosos en el área de estudio, el cual suponía que la incisión fuese irregular a lo largo del trazado de las sendas, llevó a que se trataran los datos obtenidos mediante este método como valores de profundidad del sendero, mientras que la variable de erosión se trató a partir de los datos del modelo digital de diferencias. En este sentido, cabe recordar que la resistencia natural del suelo se reduce con la humedad (Wilson y Seney, 1994), y que la mayor parte de los estudios orientados a esta temática se han llevado a cabo en zonas con características climáticas distintas a las de la zona de estudio (Salesa *et al.*, 2019).

La antigüedad de los caminos se incluyó como variable, con el fin de discernir si aquellos que ya existían en la década de 1950 mostraban niveles de erosión distintos a los de nueva creación. No se encontró ninguna correlación con los valores de incisión, con las pérdidas de suelo detectadas en el MDD, ni con el

ancho de los senderos. En este sentido, cabe recordar que es en el primer año, a partir de la apertura y uso de un nuevo sendero, cuando se genera el mayor volumen de impacto (Leung y Marion, 1996; Marion, 2006), lo que explicaría que no exista diferencia entre los caminos antiguos y los nuevos. De ello se deduce que los usos tradicionales, de implementación temporal más prolongada que aquellos usos de tipo lúdico-deportivo, no llegaron a generar un impacto irreversible según las fases establecidas para los niveles de erosión en senderos por Hammit y Cole (1998). Mientras que esa situación de irreversibilidad sí se puede apreciar en el sendero analizado en la mayoría de los tramos muestreados. De ahí que se estime que un uso intensivo de los caminos como el actual sea una causa más probable de que se alcancen los niveles críticos de erosión que un uso prolongado de ellos mediante medios tradicionales.

El elevado número de bifurcaciones supone no solo un mayor número de itinerarios alternativos, y la consiguiente repetición de los efectos erosivos en los nuevos tramos abiertos, sino también la existencia, en el área afectada por estos cruces de caminos, de una mayor superficie desprovista de cubierta vegetal, ya que en el tratamiento de los datos se apreció como el ancho regular del sendero se amplía en los tramos donde existen bifurcaciones. Sobre este aspecto, Farías y Sallent (2015: 34) proponen una delimitación “en la mayor medida de lo posible del trazado del itinerario”, que disuada del uso y creación de senderos alternativos. No obstante, y en vista de los resultados que relacionan la aparición de cruces con el tipo de pendiente, este tipo de medidas preventivas podrían concentrarse principalmente en zonas de pendientes llanas y moderadas, e implementarse en pendientes de mayor desnivel únicamente en zonas consideradas como problemáticas según este aspecto. En cuanto a las alteraciones observadas en el sustrato detrítico de las sendas, se comprobó la presencia de formas erosivas que indican que se han alcanzado niveles críticos de erosión de difícil reversibilidad natural (Farías y Sallent, 2015), concretamente en 20 de las 26 parcelas muestreadas, y con dos parcelas totalmente desprovistas de cobertura detrítica. Por su parte, en las parcelas restantes, el nivel de compactación se asocia también a la intensidad de uso de las sendas (Andrés-Abellán *et al.*, 2005), y propicia que estos suelos carezcan de capacidad de infiltración, lo cual favorece la concentración de la escorrentía (Martin y Butler, 2021) y, con ella, el incremento de los procesos erosivos, a partir de la aparición de formas erosivas de mayor gravedad (Gómez-Limón, 1996).

Los análisis de correlación permitieron verificar la relación de la pendiente con respecto a los valores de pérdida de suelo observados, tanto desde el seguimiento espaciotemporal (correlación positiva con coeficiente de 0,582), como a partir de las medidas tomadas en las campañas de campo (correlación positiva con coeficiente de 0,643). Ello coincide con los estudios que vinculan esta variable geográfica a la intensidad con la que se muestran los efectos ambientales de las actividades en la naturaleza (Goett y Alder, 2001; Olive y Marion, 2009). La combinación de aspectos como la pérdida de suelo desde una perspectiva diacrónica, y desde una perspectiva sincrónica la incisión, la anchura de los caminos y la pendiente, permitió no solo encontrar relaciones entre estas variables, sino que también los valores de profundidad máxima y media medidos en las parcelas se correlacionaron con la pendiente. De ello se deduce que, a mayor pendiente, mayor nivel de incisión y mayor pérdida de suelos; por otra parte, la correlación inversa entre el ancho de los senderos y la pérdida de suelos máxima (cc: -0,545) indica que, a mayor pendiente, los senderos muestran menor anchura, mientras que estos son más anchos en las zonas más llanas, donde las pérdidas de suelo son menores.

6. CONCLUSIÓN

Se ha constatado una vinculación entre los impactos ambientales analizados y el uso lúdico-deportivo de los senderos del área de estudio, y se ha logrado relacionar determinadas variables fisiográficas con el tipo y la magnitud con la que se manifiestan estos impactos ambientales. Se ha observado una mayor propensión a la aparición de bifurcaciones cuanto menor es la pendiente, mientras que el análisis de la densidad espacial de sendas ha dejado patente que su mayor concentración tiene lugar en las áreas próximas a los accesos desde las áreas urbanas, de manera que tales características (pendiente y accesos) deberían centrar las medidas de gestión para minimizar la proliferación de nuevas sendas alternativas, con lo que se reduciría la extensión de los impactos asociados a ellas.

La variable fisiográfica con mayor incidencia en la erosión es la pendiente. En las zonas más llanas, los senderos son más anchos y menos profundos, lo que se corresponde con una menor pérdida de suelos, mientras que, en las zonas de mayor pendiente, la anchura del sendero se reduce, a la vez que se incrementa la incisión y, con ella, los volúmenes de pérdida de suelo. A partir de estas relaciones se puede concluir que, en zonas más llanas, el impacto relacionado con el uso recreativo-deportivo de sendas en

espacios naturales tiene un mayor efecto en la vegetación, sobre todo en el estrato herbáceo, dada la fragmentación que la proliferación de sendas produce en las comunidades vegetales, así como la desaparición de la cobertura herbácea y liquénica de las zonas sometidas al pisoteo y tránsito, mientras que, en las zonas de pendientes más acusadas, el impacto es principalmente geológico.

También se estima, a partir de la comparación entre caminos antiguos y de nueva creación, que la intensidad del uso actual de los caminos sea una causa más probable de que se alcancen niveles críticos de erosión que un uso prolongado de estos. La recolonización vegetal actual de numerosos senderos observados en la ortofoto histórica, además de la ausencia de correlaciones entre la antigüedad de los caminos y el grado de erosión, sugieren que los usos pretéritos fueron menos nocivos que los actuales, dada la reversibilidad mostrada a partir de los procesos de recolonización vegetal en los caminos desaparecidos, mientras que existen señales de irreversibilidad en las sendas de nueva aparición.

La consideración de estos aspectos, en los procesos de planificación y gestión de los itinerarios, debería formar parte de las buenas prácticas para la ordenación del territorio en los espacios naturales. En el estudio de caso del Lomo Riquiáñez, se han detectado indicadores relacionados con el alcance de niveles críticos de impacto sobre los suelos. Si bien estos impactos se limitan al área de los senderos, la proliferación de nuevas sendas, así como los efectos producidos por la intensidad de su uso, suponen señales de alerta para la toma de medidas de uso y gestión.

REFERENCIAS

- Andrés-Abellán, M., Benayas Del Álamo, J., Landette-Castillejos, T., López-Serrano, F. R., García-Morote, F. A., Del Cerro-Barja, A. (2005). Impacts of visitors on soil and vegetation in the recreational area "Nacimiento del Río Mundo" (España). *Environmental Monitoring and Assessment*, 101 (1–3), 55–67. <http://doi.org/10.1007/s10661-005-9130-4>.
- Boschi, A. M., Torre, L. G. (2002). El turismo en montaña y la conservación. En *Jornadas Regionales "Desarrollo y Ciencia en Areas de Montaña"*. Facultad de Turismo de la Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires octubre. 1400 (8300) Neuquén. 1–7.
- Cao, L., Zhang, K., Liang, Y. (2014). Factors affecting rill erosion of unpaved less roads in China. *Earth Surface Process*, 1812-1821. <http://doi.org/10.1002/esp.3569>.
- Cole, D. (1983). Assessing and Monitoring Backcountry Trail Conditions. *US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station*.
- Esque, T., Inman, R., Nussear, K., Webb, R., Girard, M., DeGayner, J. (2016). Comparison of Methods of monitors the distribution and impacts of unauthorized travel routes in a border park. *Natural Areas Journal*, 36(3), 248-258. <http://doi.org/10.3375/036.0305>.
- Fariás Torbidoni, E. I., Sallent i Bonaventura, O. (2015). El impacto ambiental de las actividades físico-deportivas en el medio natural. El caso de la práctica del Mountain Bike o bicicleta todo terreno. *Retos*, 2041(16), 31–35. <http://doi.org/10.47197/retos.v0i16.34970>.
- Goett, U., Alder, J. (2001). Sustainable Mountain biking: a case of study of Western Australia. *Journal of Sustainable tourism*, 9 (3), 193-211. <http://doi.org/10.1080/09669580108667398>.
- Gómez-Limón, F. (1996). *Uso recreativo de los Espacios Naturales. Frecuentación, factores explicativos e impactos asociados. El caso de la Comunidad de Madrid*. En Universidad Autónoma de Madrid: Departamento Interuniversitario de Ecología.
- Hammit, W., Cole, D. (1998). Impacts of Hiking and Camping on Soils and Vegetation: a review. *Ecology and Management*, 41, 60. <https://doi.org/10.1079/9780851998107.0041>
- Leung, Y., Marion, J. (1996). Trail degradation as influenced by environmental factors: a state-of-the-knowledge review. *Journal of soil and water conservation*, 51 (2), 130-136.
- Lynn, N. A., Brown, R. D. (2003). Effects of recreational use impacts on hiking experiences in natural areas. *Landscape and Urban Planning*, 64 (1–2), 77–87. [http://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00202-5](http://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00202-5).
- Martin, R. H., Butler, D. R. (2021). Trail morphology and impacts to soil induced by a small mountain bike race series. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 35 (4), 100390. <http://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100390>.
- Olive, N. D., Marion, J. L. (2009). The influence of use-related, environmental, and managerial factors on soil loss from recreational trails. *Journal of Environmental Management*, 90 (3), 1483–1493. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.004>.
- Pickering, C. M., Hill, W., Newsome, D., Leung, Y. F. (2010). Comparing hiking, mountain biking and horse

- riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. *Journal of Environmental Management*, 91 (3), 551–562. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.025>.
- Rebolledo Dujisin, P. (2019). Impactos ambientales generados por la actividad deportiva, recreativa y turística en alta montaña. Análisis de la cordillera de la Región Metropolitana de Santiago, Chile *Retos*, 2041(37), 62–69. <http://doi.org/10.47197/retos.v37i37.69036>.
- Rice, W. L., Mateer, T. J., Reigner, N., Newman, P., Lawhon, B., Taff, B. D. (2020). Changes in recreational behaviors of outdoor enthusiasts during the COVID-19 pandemic: analysis across urban and rural communities. *Journal of Urban Ecology*, 6(1), 1–7. <http://doi.org/10.1093/jue/juaa020>.
- Salesa, D., Terol, E., Cerdà, A. (2019). Soil erosion on the “El Portalet” mountain trails in the Eastern Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 661, 504–513. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.192>.
- Schamel, J. (2017). A demographic perspective on the spatial behaviour of hikers in mountain areas: The example of Berchtesgaden National Park. *Eco.Mont*, 9 (Special issue), 66–74. <http://doi.org/10.1553/eco.mont-9-sis66>.
- Schnitzer, M., Schöttl, S. E., Kopp, M., Barth, M. (2020). COVID-19 stay-at-home order in Tyrol, Austria: sports and exercise behaviour in change? *Public Health*, 185, 218–220. <http://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.06.042>.
- Venter, Z. S., Barton, D. N., Gundersen, V., Figari, H., Nowell, M. (2020). Urban nature in a time of crisis: Recreational use of green space increases during the COVID-19 outbreak in Oslo, Norway. *Environmental Research Letters*, 15 (10), <http://doi.org/10.1088/1748-9326/abb396>.
- Wilson, J., Seney, J. (1994). Erosional impact of hikers, horses, motorcycles, and off-road bicycles on mountain trail in Montana. *Mountain Research and Development*, 14 (1), 77–88. <http://doi.org/10.2307/3673739>.