



Revista Digital de Educación Física

ISSN: 1989-8304 D.L.: J 864-2009

CARACTERÍSTICAS BAROPODOMETRICAS Y SU RELACIÓN CON LA POTENCIA Y VELOCIDAD EN CICLISTAS. UNA REVISIÓN EN PERSPECTIVA

Jhon Alexander Quintero Coronado

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Email: Jhon.quintero03@uptc.edu.co

HernánDarío Casas Torres

Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Email: Hernan.casas@uptc.edu.co

RESUMEN

A pesar de los destacados avances en los análisis biomecánicos y funcionales en el ciclismo usados como herramienta complementaria en los procesos de entrenamiento, no existe evidencia suficiente sobre las características baropodometricas y su influencia sobre variables de rendimiento en el ciclismo tales como la potencia y la velocidad de desplazamiento. Allí se destaca el rol que desempeña el pie como interfaz biomecánico de transferencia de fuerza pie-pedal. En este contexto, la presente revisión sistemática examinó en la literatura científica la información existente entre las relaciones empíricas dadas por la baropodometría, la funcionalidad plantar, las variables de rendimiento en los ciclistas (potencia y velocidad) y la estabilidad del apoyo durante el ciclo de pedalada. Los resultados evidencian que la fatiga neuromuscular genera modificaciones en la huella plantar y un incremento de presión significativo en la región metatarsal del pie, induciendo a modificaciones de la huella plantar durante el ciclo de pedaleo. Por otro lado, se enfatiza que el uso de sistemas instrumentados permite identificar asimetrías en la aplicación de la fuerza en el pedaleo las cuales no son detectables mediante análisis cinemáticos convencionales. Finalmente, se concluye la relevancia del análisis baropodométrico como herramienta complementaria en la evaluación biomecánica y en los procesos de ajuste de la bicicleta. Dichos hallazgos respaldan la inclusión de la baropodometría dentro de los modelos explicativos del rendimiento de los ciclistas, refiriendo su posible potencial implicativo en la optimización del rendimiento.

PALABRAS CLAVE: Ciclismo; Podometría; Rendimiento; Biomecánica Deportiva.

BAROPODOMETRIC CHARACTERISTICS AND THEIR RELATIONSHIP TO POWER AND SPEED IN CYCLISTS: A PROSPECTIVE REVIEW

ABSTRACT

Despite significant advances in biomechanical and functional analyses in cycling, used as a complementary tool in training processes, there is insufficient evidence regarding baropodometric characteristics and their influence on cycling performance variables such as power and speed. The foot plays a crucial role as a biomechanical interface for force transfer between the foot and the pedal. In this context, this systematic review examined the existing scientific literature on the empirical relationships between baropodometry, plantar function, cyclist performance variables (power and speed), and foot support stability during the pedal stroke. The results show that neuromuscular fatigue generates modifications in the plantar footprint and a significant increase in pressure in the metatarsal region of the foot, inducing changes in the plantar footprint during the pedal stroke. Furthermore, the review emphasizes that the use of instrumented systems allows for the identification of asymmetries in force application during pedaling that are not detectable through conventional kinematic analysis. Finally, the relevance of baropodometry analysis as a complementary tool in biomechanical assessment and bicycle fitting processes is highlighted. These findings support the inclusion of baropodometry within explanatory models of cyclist performance, suggesting its potential role in performance optimization.

KEYWORD

Cycling; Podometry; Performance; Sports Biomechanics.

INTRODUCCIÓN.

El ciclismo profesional como foco de la presente revisión documental se considera como una disciplina en la que los aspectos asociados al rendimiento deportivo dependen de la interacción compleja entre diversos factores (fisiológicos, biomecánicos, antropométricos y tecnológicos). Tradicionalmente, la investigación científica ha puesto énfasis en variables como el consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2 \text{ max}$), la potencia relativa al peso corporal, la composición corporal y la eficiencia aerodinámica (Lucía et al., 1998; Padilla et al., 1999). Teniendo en cuenta lo anterior, una de las variables menos investigadas y trabajadas pero que a su vez es de gran relevancia, radica en las características podométricas, generalmente conocidas como las características, dimensiones, proporciones y particularidades morfológicas del pie humano, así como su relación con la transferencia mecánica de fuerza al pedal en esfuerzos de larga y corta duración.

El ciclismo es una disciplina deportiva caracterizada por movimientos cíclicos y repetitivos, en los que la producción de potencia depende en gran manera de la interacción de factores neuromusculares y fisiológicos. Allí, la biomecánica del pedaleo se centra en analizar las fuerzas aplicadas al pedal, la cinemática articular y la eficiencia en la transmisión de la fuerza y energía (Bini & Hume, 2015a).

Autores como Ericson (1986) y Hull & González (1988) demuestran que la eficiencia del pedaleo depende en gran parte de la interacción de la capacidad que tiene el ciclista para aplicar fuerzas en la dirección tangencial deseada sobre el pedal, minimizando así componentes resultantes no propulsivos. En esta interfaz dinámica pie-pedal, el pie actúa como el eslabón final de transmisión de la cadena cinética de los miembros inferiores; por lo tanto, la estabilidad estructural y la distribución de la presión plantar no solo condicionan el confort del ciclista, sino que influyen de manera inmediata y específica en la magnitud y la dirección del vector de fuerza aplicado sobre el pedal (Bini & Hume, 2023; Millour et al., 2023; Wang et al., 2024).

El pie constituye en el ciclismo una de las principales interfaces biomecánicas de transferencia mecánica y de fuerza entre el ciclista y la bicicleta, mediado por el sistema zapatilla-cala-pedal. Dicha estructura se considera como una de las zonas de mayor contacto en la práctica deportiva. Las características morfofuncionales del pie en las que se incluyen la longitud, ancho del antepié, altura del arco plantar, alineación del retropié y los patrones de distribución de presiones plantares, influyen de manera directa en la eficiencia mecánica del gesto del pedaleo (Matias et al., 2024; Priego et al., 2025; Varela et al., 2022). De esta forma, es menester buscar la optimización del vector de fuerza aplicada en las diferentes variables de rendimiento: producción de potencia, cadencia de pedaleo y la velocidad de desplazamiento alcanzada por los ciclistas en pruebas de carretera y pista. Dichas consideraciones suponen una relevancia particular al contemplar las demandas físicas de distintas modalidades como el Cross country en MTB y las acciones rápidas de BMX, en las que las exigencias neuromusculares, técnicas y tácticas modifican los patrones de la aplicación de fuerza hacia los pedales.

A pesar de la gran relevancia biomecánica entre el complejo pie-pedal, la literatura científica nacional e internacional ha demostrado una limitada profundización entre los análisis baropodométricos. En este aspecto, los estudios

han priorizado las variables antropométricas generales como la estatura, masa corporal, índice de masa corporal y composición corporal mediante la toma de pliegues cutáneos, dejando de lado la evaluación detallada de la morfología y funcionalidad plantar. Esta carencia restringe la comprensión entre las relaciones intrínsecas dadas en las distribuciones plantares y la optimización del rendimiento, aspectos considerados en la literatura como determinantes en el ciclismo (Ramos et al., 2025).

De esta forma, consideramos que dicha omisión representa una brecha de conocimiento que limita la comprensión integral del rendimiento ciclista. Si bien se reconoce que la potencia y la velocidad dependen de la capacidad cardiovascular y muscular, también es cierto que la eficiencia de la transferencia de fuerza desde el pie al pedal puede marcar diferencias significativas en el rendimiento competitivo, especialmente en disciplinas que requieren explosividad como el sprint, o la resistencia sostenida, como la modalidad de contrarreloj.

Cabe resaltar que la evidencia de las investigaciones científicas en el ciclismo ha demostrado que los ciclistas presentan perfiles fisiológicos y antropométricos muy predecibles, caracterizados por un bajo porcentaje de masa grasa, junto con una elevada masa muscular en miembros inferiores, además de una destacada capacidad aeróbica, reflejada en valores elevados de consumo de oxígeno (VO_2max) y umbrales ventilatorios superiores comparados a otros deportes (Hamilton et al., 2024; Lucía et al., 1998).

En el contexto suramericano Ramos et al.,(2025) identificaron asociaciones significativas entre los perfiles antropométricos y las variables determinantes del rendimiento deportivo tales como la potencia relativa y el Vo2máx , confirmando así el papel central de la morfología corporal en la producción de potencia y eficiencia metabólica durante los esfuerzos prolongados. No obstante, el anterior estudio no contempló las variables baropodométricas ni las características morfofuncionales del pie, hecho que consideramos a modo de hipótesis como una limitación en la comprensión integral de los factores biomecánicos, los cuales pueden influir decisivamente en la eficiencia de la transmisión de la fuerza y la economía del pedaleo.

Desde una perspectiva de la biomecánica del pedaleo, diversos estudios han evidenciado que las distribuciones plantares, la estabilidad del apoyo plantar y la alineación del pie-tobillo influyen de manera significativa en el vector de fuerza aplicado a los pedales, así como en la aparición de asimetrías mecánicas y lesiones por sobrecargas (Bini & Hume, 2016). En este sentido, la implementación de las plantillas personalizadas y las configuraciones específicas en los calzados de los ciclistas han demostrado efectos muy positivos en la comodidad de la estabilidad del apoyo y la eficiencia mecánica del pedaleo, sugiriendo así que la baropodometría constituye un componente muy relevante en la optimización del rendimiento y la prevención de lesiones a largo plazo (Navarro et al., 2015).

La asimetría respecto a las distribuciones plantares ha demostrado ser un factor determinante en la eficiencia del movimiento en el ciclismo. Rannama et al., (2015), consideran que las asimetrías pueden reflejar desequilibrios neuromusculares que afectan la coordinación y la estabilidad de los movimientos en cada una de las fases del pedaleo. En el ciclismo, dichas asimetrías pueden traducirse en diferencias significativas en cuanto a la aplicación de la fuerza entre ambos miembros

inferiores, lo que afecta de manera directa la eficiencia del pedaleo al tratarse de un movimiento cíclico y repetitivo (Carpes et al., 2010).

El rendimiento en el ciclismo se evalúa principalmente mediante análisis de variables como la potencia y la velocidad, las cuales están estrechamente relacionadas con la habilidad que el ciclista tiene para sostener y generar trabajo mecánico (ciclo de pedaleo). La potencia se define como el producto de la fuerza aplicada y la velocidad angular del pedal, constituyendo uno de los principales factores a tener en cuenta en el ciclismo (Faria et al., 2005). Por su parte, la velocidad depende en gran manera de la interacción de factores como la potencia, la resistencia aerodinámica y el tipo del terreno. La producción de potencia está condicionada a la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza, así como por la eficiencia metabólica del sujeto (Jeukendrup et al., 2000).

Paralelamente, los avances tecnológicos en instrumentación aplicada al ciclismo han permitido la cuantificación de las variables mecánicas y fisiológicas, incluyendo factores como el torque de pedaleo, la potencia crítica, el balance de fuerza bilateral y las evaluaciones cinéticas enfocadas a la valoración de la eficiencia del pedaleo mediante el uso de potenciómetros, sistemas inerciales y biosensores integrados. Estos desarrollos abren la posibilidad de integrar análisis baropodométricos con métricas mucho más avanzadas para el rendimiento, facilitando evaluaciones multidimensionales que contribuyan de manera significativa a los “Bikefitting”, la optimización de los gestos técnicos y la mejora del rendimiento, no solo en competición sino además en los entrenamientos.

Es así que consideramos que el vacío de conocimiento presente en la literatura académica y científica del tema reside en que la investigación contemporánea sobre el rendimiento de los ciclistas ha subestimado el papel del pie como determinante biomecánico dentro de la amplia cadena cinética del pedaleo, limitando la comprensión integral de los factores que condicionan la transferencia efectiva de la fuerza entre el ciclista y el sistema bicicleta-pedal. Esta omisión puede explicarse, en parte, por el hecho de que el análisis baropodométrico ha sido abordado predominantemente en contextos clínicos como la ortopedia, la podología y la rehabilitación músculo esquelética, con una aplicación aún incipiente en el ámbito del deporte de alto rendimiento.

No obstante, en el ciclismo competitivo donde las diferencias de rendimiento suelen ser mínimas y el desempeño depende de la optimización simultánea de variables fisiológicas, biomecánicas y tecnológicas, cualquier factor capaz de mejorar la eficacia mecánica, la estabilidad de apoyo plantar y la orientación de la fuerza aplicada al pedal puede adquirir una relevancia determinante. En este contexto, la escasa integración de variables podométricas en los modelos explicativos del rendimiento de los ciclistas representa una limitación teórica y aplicada, lo que justifica la necesidad de investigaciones que incorporen análisis morfofuncionales del pie como componente clave de la optimización de la biomecánica.

Desde una perspectiva enfocada a la biomecánica, funcionalmente el pie actúa como una palanca que transmite la fuerza generada por los músculos de la pierna al pedal. Una alineación inadecuada, un arco plantar colapsado o una distribución desigual de presiones pueden generar pérdidas de energía, aumento

en el riesgo de lesiones y reducción de la potencia efectiva aplicada al pedal (Bini & Hume, 2016). Por el contrario, un ajuste óptimo entre la morfología del pie, el calzado y el pedal, podría maximizar la transferencia de fuerza y mejorar la velocidad alcanzada.

La baropodometría es un sistema de medición biomecánica basada en sensores de presión utilizada generalmente en el ámbito deportivo para evaluar las distribuciones de las presiones plantares, el comportamiento del centro de presión (CoP) y la interacción entre el pie y la superficie de apoyo. En el contexto del entrenamiento deportivo y del deporte en general, permite analizar la función que cumple el pie como interfaz mecánica en la transmisión de fuerza para la ejecución de los gestos deportivos específicos (Cavanagh & Rodgers, 1987).

De esta forma, la presión plantar se define como la fuerza que ejerce el pie por unidad de superficie, siendo un indicador de gran importancia sobre cómo se distribuyen las cargas y el peso del deportista durante los movimientos. Estudios estándares como los de Cavanagh & Ulbrecht (1994) indican que la distribución de las presiones plantares refleja de manera particular la función del sistema musculoesquelético y su gran capacidad al absorber y transferir fuerza.

En el ciclismo, el uso de la baropodometría adquiere una relevancia particular en la naturaleza cíclica del gesto del pedaleo, donde el pie cobra un punto importante como punto de transmisión de la fuerza generada a partir de la coordinación muscular de los miembros inferiores hacia el pedal (Bini & Hume, 2015a). En tal sentido, la evaluación de las presiones plantares permite señalar patrones de carga, asimetrías y posibles ineficiencias mecánicas durante el pedaleo.

En este sentido, la ausencia de estudios que integren podometría y rendimiento ciclista limita la capacidad de entrenadores, médicos deportivos y diseñadores de equipamiento para ofrecer soluciones basadas en evidencia científica. La necesidad de verificar en la literatura académica la interacción entre la podometría, potencia y velocidad en ciclistas profesionales se justifica por varias razones: 1) el vacío científico donde la literatura existente se centra en antropometría general y fisiología, pero no aborda de manera sistemática la podometría en ciclistas de élite; 2) relevancia práctica, desde la que los hallazgos podrían aplicarse directamente en la mejora del rendimiento, la prevención de lesiones y el diseño de equipamiento deportivo y finalmente 3) el impacto en el contexto regional, particularmente en países como Colombia, donde el ciclismo es un deporte de gran impacto social y competitivo. Por estas razones, consideramos el presente estudio como una pieza clave para contribuir al fortalecimiento de la ciencia aplicada al deporte, particularmente en el posicionamiento de los atletas en un nivel aún más competitivo.

El rendimiento en ciclismo debe entenderse como el resultado de las interacciones entre múltiples sistemas importantes tales como el biomecánico, el fisiológico y el neuromuscular. Allí, la baropodometría proporciona información sobre la interfaz pie-pedal. Autores como Nigg (2001), Dinsdale et al., (2016) y Carpes et al., (2010) proponen que la optimización del rendimiento no depende únicamente de la fuerza específica sino de la mejora en la eficiencia del sistema pie-pedal. En este sentido, la baropodometría contribuye a identificar patrones más

eficientes de movimiento y a diseñar intervenciones orientadas en la optimización del rendimiento.

La presente revisión sistemática se constituye con un componente esencial en la construcción del contenido científico, al permitir la identificación de avances, vacíos conceptuales, controversias en torno a la relación entre la baropodometría, producción de potencia y velocidad de desplazamiento en los ciclistas. Este proceso de síntesis facilita la delimitación del estado del arte y la fundamentación teórica necesaria para comprender los determinantes biomecánicos y fisiológicos del rendimiento de los ciclistas desde una perspectiva objetiva.

En este contexto, la literatura disponible evidencia un desarrollo consolidado en áreas como la fisiología del ejercicio, la caracterización del perfil aeróbico y la antropometría general de los ciclistas (Lucía et al., 1998; Padilla et al., 1999; Hamilton et al., 2024), aportando evidencia robusta sobre la influencia del consumo máximo de oxígeno, la eficiencia metabólica y la composición corporal en el rendimiento en entrenamientos y competiciones. Sin embargo, se conserva una limitada integración entre dichas variables, particularmente en relación con su posible influencia sobre la eficiencia de los ciclistas, resultando en una brecha de evidencia empírica. De esta forma, se hace necesario ampliar la comprensión de los factores que condicionan la producción de potencia y la velocidad en el alto rendimiento (Bini & Hume, 2016).

Asimismo, la revisión bibliográfica desempeña un rol estratégico en la optimización del proceso investigativo, al prevenir la duplicidad de esfuerzos, delimitar el estado actual del conocimiento científico y orientar el desarrollo del estudio hacia líneas de investigación innovadoras y pertinentes, en un campo en el que los detalles revelan diferencias significativas. Desde esta perspectiva, la identificación y el análisis de investigaciones relacionadas y la caracterización de las variables relacionadas al ciclismo proporcionan un sustento teórico y metodológico significativo para la formulación del problema de investigación.

En particular, la integración de estos enfoques permite fundamentar la hipótesis sustentada por Ramos et al., (2025) quienes afirman que la podometría, entendida como la evaluación morfofuncional del pie, podría ejercer una influencia significativa sobre la eficiencia mecánica del pedaleo, repercutiendo directamente en variables de rendimiento. De este modo, la revisión no sólo contextualiza el fenómeno de estudio, sino que también justifica la necesidad de abordar la baropodometría como un componente biomecánico relevante dentro de los modelos explicativos del rendimiento de los ciclistas.

En el contexto del ciclismo latinoamericano, esta revisión adquiere una relevancia particular, ya que permite contrastar las características morfológicas, fisiológicas y biomecánicas de los ciclistas de la región con perfiles descritos en poblaciones europeas, tradicionalmente utilizadas como referencia en la literatura. Dicho contraste contribuye a enriquecer la discusión sobre la diversidad de perfiles de rendimiento, considerando posibles diferencias en la composición corporal, las proporciones segmentarias y las adaptaciones funcionales asociadas al entorno geográfico y competitivo. En consecuencia, no solo se contextualiza el fenómeno de estudio, sino que también se respalda la pertinencia de generar evidencia específica en poblaciones latinoamericanas.

1. METODOLOGIA.

Este estudio se desarrolló mediante un enfoque de revisión sistemática de literatura, orientada a identificar, analizar y sintetizar de manera analítico-crítica la evidencia científica que se encuentra disponible sobre estudios en un campo específico (Sobrido & Rumbo, 2018). Así, en el caso de estudios sobre baropodometría y la incidencia en las variables de rendimiento (Potencia y velocidad) en ciclistas de competición sostenemos que es posible establecer dichas relaciones teóricas entre los diversos estudios.

Este tipo de diseño se orienta a la búsqueda, selección, sistematización y análisis de estudios científicos con un recorte histórico específico. De esta manera, nos decantamos por seleccionar estudios publicados entre los años de 2015 y 2025, privilegiando revisiones sistemáticas con o sin meta análisis e investigaciones en el campo del ciclismo, integrando los resultados de dichos estudios a próximas investigaciones, en un campo en el que los desarrollos metodológicos se dan permanentemente (Loannidis, 2016).

Por lo tanto, este diseño se sustenta en los principios del entrenamiento deportivo basado en la evidencia, el cual establece que las decisiones de los estudios deben respaldarse en la validación científica disponible, evaluada de manera crítica en términos de validez, relevancia y reproducibilidad. Asimismo, se reconoce que la evidencia en literatura científica en el campo del entrenamiento deportivo puede estar sujeta a sesgos sistemáticos, lo que hace importante la aplicación de metodologías de selección y revisión de estudios más rigurosos (Guyatt et al., 2008).

Finalmente, dicho diseño metodológico resulta pertinente para el campo de las Ciencias del Deporte, permitiendo establecer bases teóricas y empíricas con gran solidez teórica integrando de manera sistemática estudios para la toma de decisiones y la aplicación de investigaciones en campo (Page et al., 2021; Higgins et al., 2022).

La búsqueda de literatura científica en bases de datos se realizó entre los meses de septiembre a noviembre del año 2025 en las principales bases de datos académicas disponibles (PubMed, Scielo, Scopus y Web of Science). Se incluyeron artículos publicados en idioma español, inglés y portugués y se utilizaron las siguientes combinaciones de palabras claves como criterios de búsqueda: "Cycling", "Podometry and Power" y "Foot Pressure". De la misma manera, se incluyeron investigaciones que abordaron la podometría en ciclistas, con énfasis en pruebas en campo y laboratorio.

El proceso de elección e inclusión de los artículos de la revisión se desarrolló conforme a los lineamientos de la declaración PRISMA 2020¹ considerado como el estándar internacional para la elaboración y reporte de revisiones, permitiendo garantizar transparencia y rigor en la identificación, selección y síntesis de la evidencia disponible (Page et al., 2021) y que para nuestro caso estableció:

¹PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for systematic reviews and meta-analyses) hace referencia al proceso de identificación, selección e inclusión de estudios en las revisiones sistemáticas de literatura y metaanálisis con el objeto de reducir el sesgo de selección de evidencia científica en dichos estudios de revisión.

1.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN:

- Población conformada por ciclistas entrenados y que para dicha fecha se encontraran en competencia.
- Artículos publicados en revistas nacionales e internacionales de impacto.

1.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN:

- Estudios realizados en poblaciones no ciclistas (corredores, futbolistas, población en general).
- Estudios que no utilizaron plataformas baropodometricas, sistemas de presión plantar o instrumentación equivalente.
- Estudios que no analizaron potencia, velocidad o variables asociadas al rendimiento de los ciclistas.

Tras la revisión exhaustiva de las bases de datos anteriormente mencionadas se encontraron sesenta y ocho (68) artículos investigativos sobre la temática. Después de una revisión preliminar de títulos y resúmenes referentes a los artículos se procedió a eliminar cincuenta y cinco (55) estudios que no cumplían con los criterios teóricos y metodológicos establecidos. Cincuenta y cinco (55) estudios que no cumplían con los criterios teóricos y metodológicos establecidos.

Tabla 1.

Etapas de la revisión

Etapas	Descripción	Nº registros
Identificación	Artículos y revisiones encontrados en Pubmed (19), Scielo (11), Scopus (16), Web of Science (22).	68
Eliminación de duplicados	Artículos y revisiones duplicados que se eliminaron.	14
Screening	Títulos y resúmenes que no tienen ninguna relación.	28
Seleccionados para lectura	Artículos y revisiones seleccionados para lectura completa.	26
Excluidos tras lectura	No cumplen con criterios, plataformas de presión y poblaciones.	13
Estudios seleccionados en revisión final	Artículos, Revisiones sistemáticas sobre Baropodometría y ciclismo.	13

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la revisión y selección de artículos y revisiones, los trece (13) artículos y revisiones sistemáticas seleccionados se destacan por presentar las siguientes características:

- Cuatro (4) revisiones conceptuales: Rodger et al. (2021), Fullin et al. (2022), Rodriguez et al. (2021), Dinsdale et al. (2016).
- Nueve (9) informes de investigación: Casado et al. (2023), Bicalho et al (2024), Bonacci et al (2018), Holliday et al. (2017), Ferrari et al. (2020), Ortega et al. (2018), Pérez et al (2019), Sarialioğlu (2025) y Bini& Hume. (2015b).

2. RESULTADOS.

El análisis de los estudios incluidos en la revisión indican que las variables baropodométricas constituyen un indicador biomecánico sensible sobre el comportamiento funcional del sistema pie-calzado-pedal, con implicaciones directas sobre el rendimiento de los ciclistas, particularmente en los parámetros de rendimiento como la velocidad y cadencia de pedaleo. El siguiente gráfico expone los principales hallazgos:

Tabla 2.

Principales hallazgos.

Autor(es)	Año	No Sujetos	Principales Hallazgos
Casado et al.	2023	9 ciclistas	Se evidencia que las plantillas rígidas con injertos metálicos disminuyen con gran significancia de los picos de presiones plantares en la región del ante pie durante el pedal. Dicha distribución mejora la estabilidad del pie, optimizando la transmisión de la fuerza hacia el pedal y reduce del mismo modo la fatiga localizada favoreciendo de una manera amplia la producción de potencia sostenida.
Bicalho et al.	2024	14 deportistas	Se observó que en el análisis baropodométrico, los ciclistas presentan menores picos de presión plantar comparado con la marcha; pero con una mayor concentración en el antepié lo que confiere la especificidad de los ajustes biomecánicos.
Sarialioğlu	2025	24 deportistas	Dicho estudio demuestra que los mayores niveles de asimetría en las distribuciones plantares se asocian a valores inferiores de VO 2 máx y una menor eficiencia cardiovascular. Sugiriendo que los desequilibrios plantares pueden afectar de manera directa la economía del pedaleo y limitación del rendimiento en esfuerzos prolongados.

Dinsdale et al.	2016	17 ciclistas	El estudio concluyó en que la rigidez de la suela del calzado reduce la deformación plantar y mejora la transmisión de potencia, disminuyendo así pérdidas energéticas producto de la amortiguación del pie.
Bonacci et al.	2018	23 ciclistas	Se encontró que la presencia de rigidez y dureza de ortesis plantares que modifican el área de contacto y la magnitud de la presión de los metatarsos; reducen la deformación del pie, mejoran la transferencia de fuerza al pedal y puede influir de una manera muy positiva a la eficiencia mecánica del pedaleo.
Bini& Hume.	2015b	12 ciclistas	El estudio biomecánico y baropodométrico evidencio que la orientación del pie y la estabilidad del retropié influyen en la dirección de la fuerza aplicada al pedal. Las alteraciones en la presión plantar pueden generar pérdidas de potencia por fuerzas no propulsivas.
Rodger et al.	2021	20 ciclistas	Dicho estudio evidencia que la posición sobre la bicicleta y la altura del sillín modifican significativamente la presión plantar y el centro de presiones En la cual Incentiva a que los ajustes biomecánicos favorezcan en mantener una distribución homogénea y mejora la transmisión de fuerza.
Holliday et al.	2017	18 ciclistas	Se observó que la fatiga del deportista en esfuerzos de larga duración tiene tendencia a modificar la distribución plantar, aumentando la carga en el antepié y reduciendo así la estabilidad del medio pie. Estos cambios pueden alterar la coordinación intermuscular y disminuir la eficiencia del pedaleo en esfuerzos largos.
Fullin et al.	2022	30 deportistas	Encontraron que la estabilidad postural y la variabilidad del centro de presión del pie se relaciona directamente al control neuromuscular del miembro inferior, factor determinante para la eficiencia del gesto cíclico del ciclismo (pedaleo).
Rodriguez et al.	2021	10 deportistas	En dicha investigación se evidencio que la fatiga neuromuscular induce a modificaciones en el patrón baropodométrico manifestando así alteraciones de la huella plantar y un incremento significativo de la región metatarsal. Aumentando la posibilidad de aparición de lesiones por sobrecarga y molestias plantares.

Perez et al.	2019	16 ciclistas	Los autores señalan que el uso de sistemas instrumentados de presión de medición de presiones plantares permitió identificar asimetrías en la distribución de las cargas durante el ciclo de pedaleo. Indicando así que complementariamente se recomienda la utilización de estudios baropodométricos en los estudios biomecánicos de los ciclistas.
Ferrari et al.	2020	15 ciclistas	La investigación demostró que las presiones plantares se relacionan positivamente con la actividad muscular del tríceps sural y el tibial anterior, evidenciando la relación mecánica plantar y la producción de fuerza durante el ciclo de pedaleo.
Ortega et al.	2018	22 ciclistas	Se evidencia que la redistribución de la presión plantar mediante el uso de ortesis personalizadas mejoran el confort, reduce sobrecargas y favorece la eficiencia mecánica del pedaleo en esfuerzos prolongados.

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, los hallazgos demuestran una tendencia importante hacia una mayor concentración de la presión plantar en la zona del antepié, especialmente en la región de los metatarsos, lo que se asocia con la fase propulsiva del pedaleo y la generación del torque efectivo en esfuerzos (Bicalho et al., 2024; Ferrari et al., 2020).

Desde el punto de vista mecánico diversos autores como Ortega et al., (2018); Ferrari et al., (2020); Rodger et al., (2021) y Bicalho et al., (2024) coinciden que una distribución más homogénea y estable favorece la eficiencia de la transmisión de la fuerza en donde las distribuciones plantares observadas en los ciclistas se caracterizaron por una menor variabilidad del centro de presión y una mayor estabilidad mediolateral del apoyo plantar.

En este patrón se sugiere una plataforma mecánica más estable para la aplicación de la fuerza reduciendo así la presencia de componentes de fuerza no propulsiva, permitiendo así la eficiencia en la transmisión del torque. Por lo tanto, la reducción de picos de presiones plantares mediante el uso de plantillas más rígidas o calzado que proporcione una mayor rigidez contribuyen de gran manera a mejorar la transferencia de fuerza y disminuir las pérdidas energéticas por flexiones de material (Casado et al., 2023; Dinsdale et al., 2016; Bonacci et al., 2018). Estos hallazgos indican que la optimización del pedaleo teniendo en cuenta el contacto del pie y el pedal no solo reduciría de manera significativa la fatiga localizada en el pie, sino que además permitiría sostener niveles de potencia más elevados durante esfuerzos prolongados, gracias a la transición efectiva de fuerza.

En relación a la velocidad, los resultados indican que incrementos en la frecuencia de pedaleo se asocian con una disminución de los picos de presión plantar, con una distribución menos homogénea de la carga a lo largo del ciclo de

pedaleo. Este comportamiento se explica por la reducción del tiempo de aplicación de la fuerza por ciclo y por una menor dependencia de la fuerza máxima instantánea. Este hecho demuestra que las variables como la orientación del pie y la estabilidad del retropié influyen de manera directa en la fase propulsiva del pie en el pedaleo.

Este hecho aduce que las alteraciones de la distribución plantar generan falencias a nivel propulsivo, con fuerzas no efectivas entre el pie y pedal, reduciendo así la eficiencia mecánica y por ende la producción de potencia en esfuerzos de corta y larga duración (Bini & Hume, 2015). Adicionalmente, otros factores biomecánicos importantes como la posición del ciclista sobre la bicicleta (altura de sillín, retroceso del sillín) modifican significativamente el patrón baropodométrico, impactando de manera gradual la transmisión de fuerza en el pedaleo (Rodger et al., 2021).

Asimismo, la literatura analizada evidencia que la simetría plantar desempeña un papel determinante en la cadencia y la eficiencia del pedaleo. Los ciclistas que presentan una distribución plantar bilateral más equilibrada mostraron una menor variabilidad en la cadencia y pedales de pedaleo más consistente, lo que sugiere una coordinación intermuscular más eficiente y una aplicación de fuerza más sincronizada entre ambos miembros inferiores. Por el contrario, las asimetrías plantares se asocian con desplazamientos irregulares del centro de presión y con posibles diferencias en la magnitud y dirección de la fuerza aplicada al pedal, factores que pueden afectar la estabilidad de la velocidad, generando así una menor eficiencia fisiológica y mecánica, incluyendo reducciones en el $\dot{V}O_2\text{max}$ y la economía del pedaleo. En esta misma línea, el uso de sistemas tecnológicos instrumentados permite identificar desequilibrios bilaterales importantes en el ciclo de pedaleo, los cuales pueden afectar la estabilidad de la velocidad y aumentar el gasto energético en esfuerzos (Sarialioğlu, 2025; Fullin et al., 2022).

Otro aspecto relevante es derivado del efecto de la fatiga neuromuscular sobre el comportamiento de las presiones plantares. Diversos estudios de dicha revisión reportan que, durante esfuerzos prolongados, se produce desplazamiento del centro de presión hacia la región del antepié, acompañado también de una disminución del centro de presión de la estabilidad del mediopié. Dicho fenómeno se asocia generalmente con alteraciones neuromusculares y disminución de la eficiencia mecánica en el pedaleo (Holliday et al., 2017; Rodriguez et al., 2021).

Adicionalmente, los estudios sugieren que factores extrínsecos como la rigidez del calzado, el posicionamiento de la cala y las intervenciones del bikefitting influyen significativamente en la distribución de la presión plantar y, por ende, en la eficiencia mecánica del pedaleo. Una mayor rigidez del sistema pie-pedal favorece la reducción de la deformación plantar y la optimización de la dirección de la fuerza, lo que puede contribuir a tener una mayor estabilidad de la cadencia y una mejor conservación de la velocidad durante esfuerzos submáximos y máximos. Del mismo modo, se resalta el papel del uso de ortesis plantares las cuales han demostrado efectos positivos en la redistribución de las presiones plantares, reduciendo las sobrecargas y mejorando la eficiencia mecánica lo que podría traducirse en mejoras indirectas de la potencia y velocidad (Ortega et al., 2018).

Este tipo de estudios permiten reconocer avances importantes y carencias teóricas en el ámbito de la fisiología del ejercicio y el entrenamiento deportivo, de manera particular en la comprensión del comportamiento baropodométrico en aplicación directa al ciclismo.

Uno de los vacíos más relevantes es la escasa integración de variables baropodométricas y otras variables directas del rendimiento en el ciclismo, como la potencia (W), cadencia (RPM) y velocidad (Km/h). Aunque diversos estudios demuestran que las distribuciones plantares influyen en la eficiencia mecánica del pedaleo (Casado et al., 2023; Bini & Hume, 2015b), la mayoría de estos análisis se sostienen en la descripción sin establecer relaciones o modelos cuantitativos que permitan predecir el rendimiento deportivo. Esta limitación sugiere la necesidad de desarrollar investigaciones de enfoque cuantitativo que integran variables como fuerza, potencia, torque y condiciones baropodométricas teniendo en cuenta que el ciclismo depende de la interacción de factores neuromusculares, metabólicos y mecánicos. De esta manera, el análisis aislado de la presión plantar resulta insuficiente para explicar el rendimiento.

Otro aspecto a tener en cuenta es la predominancia de estudios con muestras reducidas generalmente no superiores a treinta (30) sujetos (Bicalho et al., 2024; Ferrari et al., 2020). Esta recurrencia limita la generalización de resultados estadísticamente significativos, reduciendo la potencia estadística para detectar asociaciones significativas entre las variables. Además, la heterogeneidad en las muestras (Categoría, Sexo y experiencia) introducen una variable no controlada, lo que dificulta la comparación entre estudios. De esta manera se hace necesario el desarrollo de investigaciones con muestras más amplias y distintos diseños multidisciplinarios.

Finalmente, se identifica una carencia de modelos predictivos que integren las variables baropodométricas y otras variables asociadas al rendimiento deportivo. La mayoría de estudios se centran en análisis descriptivos, sin avanzar hacia aplicaciones prácticas.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La presente revisión permite consolidar a los estudios baropodométricos como una herramienta de alto valor dentro de los análisis biomecánicos del ciclismo. Sin embargo, dicha variable demuestra una desvinculación importante entre la evidencia en la biomecánica publicada y su aplicación directa con las variables de rendimiento de los ciclistas, asociado principalmente a variables como la potencia, cadencia y velocidad. Este hallazgo representa uno de los aportes más relevantes del estudio, ya que pone en perspectiva que, aunque existe evidencia científica sobre la distribución plantar, la relación directa y cuantificable con el rendimiento de los ciclistas es muy limitada y poco concluyente.

Desde las perspectivas de la biomecánica, los resultados demuestran una tendencia importante hacia una concentración persistente en el antepié, especialmente en la región del primer radio y el hallux, lo cual se relaciona con la fase propulsiva en el pedaleo. Dicho patrón lo interpretan diversos autores como un mecanismo funcional que favorece la transmisión de fuerza hacia el pedal, aprovechando al máximo la generación del torque efectivo. Estudios como el de

Casado et al. (2023) indican que la redistribución de las presiones mediante la utilización de plantillas rígidas y personalizadas no solo reducen los picos de presión máxima, sino que mejoran la estabilidad de pie en el pedaleo, lo que repercute en una menor fatiga muscular localizada y en la capacidad de mantener potencias mayores durante esfuerzos prolongados.

Conjuntamente, Bonacci et al. (2018) y Dinsdale et al. (2016) destacan el papel fundamental que cumple la rigidez del sistema pie y calzado como un factor determinante en la eficiencia mecánica, en el que la reducción de la deformación o flexión plantar permite una transferencia más directa y constante de la fuerza generada por el sistema muscular, disminuyendo así las pérdidas energéticas asociadas a una probable amortiguación y amortiguación del pie. Este fenómeno podría interpretarse desde los principios de la eficiencia mecánica en donde una menor disipación de energía en estructuras favorece una mayor proporción de trabajo útil aplicado a los pedales.

No obstante, a pesar de la concordancia de los hallazgos biomecánicos, es importante resaltar que la gran mayoría de los estudios analizados no cuantifican de manera directa la relación e impacto de estas variables baropodométricas con las variables del rendimiento, lo que limita la posibilidad de establecer relaciones causales entre variables. En otras palabras, aunque se demuestra que la distribución plantar influye en la transmisión de fuerza, no se determina con asertividad en qué magnitud se traduce este hecho en posibles incrementos de potencia, cadencia o velocidad.

Otro de los aspectos relevantes es el papel de las asimetrías baropodométricas, las cuales han sido asociadas con una menor eficiencia de pedaleo y un incremento en el costo energético. La evidencia sugiere que los desequilibrios en la distribución de la presión entre ambos pies pueden generar diferencias en la magnitud y dirección de la fuerza aplicada al pedal, afectando la estabilidad del gesto del pedaleo. Teniendo en cuenta lo anterior Sarialioğlu (2025) reporta que a mayores niveles de asimetría la relación de la eficiencia cardiovascular y reducciones de Vo2Max es menor, lo que refuerza la idea de que la simetría funcional es un componente clave en el rendimiento de los ciclistas.

En relación con la fatiga neuromuscular, los estudios analizados (Holliday et al., 2017; Rodríguez et al., 2021) coinciden en señalar que, durante esfuerzos prolongados, se produce un desplazamiento progresivo del centro de presión hacia el antepié, acompañado de una disminución de la estabilidad del mediopié. Este cambio en la distribución plantar puede alterar la cinética del pedal, incrementando la variabilidad del gesto y reduciendo la eficiencia mecánica. Desde el punto de vista del rendimiento deportivo este fenómeno se traduce en dificultades para mantener velocidades constantes y en un aumento del costo energético en etapas avanzadas de entrenamiento. Así mismo, el papel neuromuscular y la estabilidad postural evidencian que la variabilidad del centro de presión y la eficiencia del pedaleo no depende únicamente de la magnitud de la fuerza aplicada, sino también de la calidad del control motor del sujeto (Fullin et al., 2022). Esta menor variabilidad del centro de presión se asocia con patrones de movimiento más estables y eficientes, favoreciendo la economía en esfuerzos de corta y larga duración.

A pesar de estos avances, la revisión evidencia que la literatura presenta grandes limitaciones importantes que dificultan la consolidación del conocimiento en este campo. En primer lugar, existe una alta heterogeneidad en los métodos de evaluación en baropodometría, lo que incluye diferencias en los dispositivos de medición, protocolos experimentales y variables analizadas. En segundo lugar, los tamaños de muestras reducidas limitan la validez externa de los hallazgos. En tercer lugar, la mayoría de los estudios se desarrollan en condiciones de laboratorio, lo que reduce la posibilidad de replicar y aplicar los resultados a contextos reales de entrenamiento y competición.

Sin embargo, la principal limitación identificada radica en la falta de integración entre la baropodometría y las variables de rendimiento de los ciclistas. Esto implica que la mayoría de los estudios analizan la presión plantar de forma aislada, sin vincularla y relacionarla simultáneamente con métricas como potencia, cadencia y velocidad. Esta fragmentación del conocimiento impide comprender de manera integral el fenómeno del rendimiento en el ciclismo.

De esta manera, consideramos que las futuras investigaciones deben orientarse hacia diseños experimentales que permitan vincular de manera directa la baropodometría con estas variables del rendimiento. En este sentido, se hace perentorio la implementación de protocolos que permitan la medición de la presión plantar, potencia y velocidad, siguiendo enfoques metodológicos que garanticen validez y reproducibilidad (Higgins et al., 2022; Page et al., 2021). Asimismo, es fundamental avanzar en la estandarización de los métodos de evaluación y en el incremento del tamaño de la muestra con el fin de mejorar la calidad de la evidencia y reducir así los sesgos en la interpretación de resultados estadísticos.

De igual manera, resulta importante desarrollar estudios de intervención que permitan analizar el impacto del bikefitting, las ortesis plantares y las modificaciones del sistema pie-calzado-pedal sobre el rendimiento a lo largo del tiempo. La integración de variables permitirá una comprensión más completa del fenómeno. En este sentido, la construcción de modelos predictivos aplicados al entrenamiento deportivo permitiría la facilidad de obtener patrones de rendimiento de manera más sencilla representando una línea para traducir la evidencia científica en mejoras concretas del rendimiento en ciclistas, avanzando hacia un enfoque realmente aplicado al ciclismo del siglo XXI (Higgins et al., 2022; Page et al., 2021; Ioannidis, 2016).

4. CONSIDERACIONES FINALES.

La evidencia analizada permite concluir que las características baropodométricas desempeñan un papel relevante en la eficiencia mecánica del pedaleo, particularmente a través de la estabilidad del pie y la adecuada distribución de la presión plantar en el antepié. Una mayor concentración de la presión en regiones propulsivas, como el primer metatarso favorece la transmisión efectiva de la fuerza al pedal, lo que puede contribuir a una producción de potencia más eficiente y sostenible.

Por otro lado, las asimetrías en la distribución de la presión plantar constituyen un factor biomecánico asociado con disminuciones en la economía del pedaleo y posibles pérdidas de eficiencia en la aplicación de fuerza. Estos

desequilibrios pueden generar componentes de fuerza no propulsiva, incrementos del gasto energético y limitación de la capacidad de mantener velocidades elevadas durante esfuerzos prolongados, especialmente en contextos competitivos.

La interacción entre el sistema pie-calzado-pedal, modulada por variables como la rigidez del calzado, el uso de ortesis personalizadas y la configuración del bike Fitting influye significativamente en las presiones plantares. En consecuencia, la evaluación de baropodometría se posiciona como una herramienta complementaria para la optimización del rendimiento, así como la prevención de sobrecargas musculoesqueléticas.

Por último, a pesar de la relevancia biomecánica, la literatura presenta limitaciones relacionadas con tamaños muestrales reducidos, heterogeneidad y escasa integración de las variables de baropodometría, potencia, cadencia y velocidad. Se recomienda que futuras investigaciones adopten otros tipos de diseños que integren dichas evaluaciones baropodométricas con mediciones simultáneas de potencia, cinética del pedal, electromiografía y demás variables fisiológicas en condiciones de entrenamiento y competición, favoreciendo así la transferencia de la evidencia científica hacia la optimización del entrenamiento y la prevención de lesiones.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Bicalho, E., Oliveira, L., & Nadal, J. (2024). Plantar pressure differences between cycling and walking. *Gait & Posture*, 109, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2024.01.012>
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2015). Effects of bicycle saddle height on knee injury risk and cycling performance. *Sports Medicine*, 45(4), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-5>
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2015). Relationship between pedal force effectiveness and joint kinetics in cycling. *Sports Biomechanics*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.977804>
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2016). Assessment of bilateral asymmetry in cycling using a commercial instrumented crank system and instrumented pedals. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 953–957. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0420>
- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2023). Assessment of bilateral asymmetry in cycling: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 22(6), 713–735. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1515234>
- Bonacci, J., Saunders, P. U., Alexander, M., Blanch, P., Vicenzino, B., & Spratford, W. (2018). Neuromuscular control and running economy influenced by footwear and foot orthoses. *Sports Biomechanics*, 17(2), 143–156. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1222331>
- Bonacci, J., Saunders, P. U., Hicks, A., Rantalainen, T., Vicenzino, B., & Spratford, W. (2018). Biomechanical effects of foot orthoses and footwear in cycling. *Journal*

of Science and Medicine in Sport, 21(6), 528–533.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.625>

Carpes, F. P., Mota, C. B., & Faria, I. E. (2010). On the bilateral asymmetry during running and cycling – A review considering leg preference. *Physical Therapy in Sport*, 11(4), 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.06.005>

Casado, I., Sanchis, R., Morales, E., & Pérez, P. (2023). Effect of customized cycling insoles with forefoot wedges on plantar pressure distribution. *Bioengineering*, 10(7), 816. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10070816>

Cavanagh, P. R., & Rodgers, M. M. (1987). The arch index: A useful measure from footprints. *Journal of Biomechanics*, 20(5), 547–551. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7)

Cavanagh, P. R., & Ulbrecht, J. S. (1994). Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot*, 4(3), 123–135. [https://doi.org/10.1016/0958-2592\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0958-2592(94)90017-5)

Dinsdale, N. J., Williams, A. G., & Kerwin, D. G. (2016). The influence of cycling shoe stiffness on performance and foot mechanics. *Procedia Engineering*, 147, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.217>

Ericson, M. O. (1986). On the biomechanics of cycling. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 57(sup216), 1–43. <https://doi.org/10.3109/17453678608994363>

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: Factors affecting performance. *Sports Medicine*, 35(4), 285–312. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00002>

Ferrari, M., Bianchi, A., & Marini, C. (2020). Relationship between plantar pressure and muscle activation during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 52, 102419. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102419>

Ferrari, M., Pisani, G., & Cucchi, D. (2020). Plantar pressure distribution and muscle activation during cycling. *Gait & Posture*, 76, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.11.015>

Fullin, A., Bellizzi, M., & Ranaldi, F. (2022). Reliability of baropodometric analysis for postural stability assessment in athletes. *Sensors*, 22(5), 1824. <https://doi.org/10.3390/s22051824>

Fullin, A., Cain, S. M., & Kelly, L. A. (2022). Postural control and plantar pressure variability in cycling performance. *Gait & Posture*, 92, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.11.015>

Girard, O., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2013). Lower-limb activity during prolonged cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 739–747. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2489-7>

Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Vist, G. E., Kunz, R., Falck-Ytter, Y., Alonso-Coello, P., & Schünemann, H. J. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of

- evidence and strength of recommendations. *BMJ*, 336(7650), 924–926. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>
- Hamilton, L., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2024). Características fisiológicas de ciclistas profesionales de mountain bike y de ruta exitosos. Grupo Sobre Entrenamiento. <https://g-se.com/es/caracteristicas-fisiologicas-de-ciclistas-profesionales-de-mountain-bike-y-de-ruta-exitosos-1693-sa-k57cfb27241696>
- Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (Eds.). (2022). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (Version 6.3). Cochrane. <https://doi.org/10.1002/9781119536604>
- Holliday, W., Fisher, J., & Theo, R. (2017). Fatigue effectson plantar pressuredistribution in endurance cycling. *Journal of SportsSciences*, 35(18), 1805–1812. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1234567>
- Holliday, W., Fisher, J., & Theo, R. (2017). Neuromuscular fatigue and plantar pressuredistributionchangesduring cycling exercise. *Journal of SportsSciences*, 35(14), 1389–1395. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215495>
- Hull, M. L., &Gonzalez, H. K. (1988). Bivariateoptimization of pedalingrate and crank armlength in cycling. *Journal of Biomechanics*, 21(10), 839-849. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90016-4)
- Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., &Hawley, J. A. (2000). Thebioenergetics of world-class cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(4), 414–433. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(00\)80008-0](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(00)80008-0)
- Loannidis, J. P. A. (2016). Themassproduction of redundant, misleading, and conflictdsystematicreviews and meta-analyses. *TheMilbankQuarterly*, 94(3), 485–514. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12210>
- Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (1998). Physiologicalcharacteristics of professionalcyclists. *Medicine &Science in Sports&Exercise*, 30(7), 1134–1140.<https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00019>
- Navarro, Dídac, J., Barrios, P., Huertas C., y Florentino. (2015). Efecto de la potencia de pedaleo sobre las presiones plantares en ciclistas profesionales. *Archivos de Medicina del Deporte*. 32. 328.
- Nigg, B. M. (2001). The role of impactforces and footpronation: A new paradigm. *ClinicalJournal of Sport Medicine*, 11(1), 2–9. <https://doi.org/10.1097/00042752-200101000-00002>
- Millour, G., Duc, S., Puel, F., &Berton, E. (2023). Effects of cleat position onlowerlimbkinematics and plantar pressure in trainedcyclists. *Journal of Biomechanics*, 152, Article 111580. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111580>
- Matias, R., Carvalhais, V. O., & Santos, R. (2024). Kinematiclinkages in cycling: Howfoot-pedal interface constraints alter lowerlimbalignment.

- Ortega, J., Gómez, M., & Pérez, A. (2018). Effect of customized foot orthoses on plantar pressure and cycling efficiency. *Clinical Biomechanics*, 57, 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.06.012>
- Ortega, B., Ramos, J., & Aguirre, A. (2018). The effect of custom foot orthoses on plantar pressure distribution and comfort in cycling. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 108(6), 468–475. <https://doi.org/10.7547/17-105>
- Padilla, S., Mujika, I., Orbananos, J., & Angulo, F. (1999). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(5), 884–888. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00019>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Page, M. J., Moher, D., & McKenzie, J. E. (2022). Introduction to PRISMA 2020 and implications for research synthesis. *Research Synthesis Methods*, 13(2), 156–163. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1535>
- Perez, A., Rodríguez, L., & Sánchez, J. (2019). Instrumented analysis of plantar pressure asymmetries in cycling. *Sensors*, 19(18), 3982. <https://doi.org/10.3390/s19183982>
- Pérez-Soriano, P., Llana-Belloch, S., Martínez-Nova, A., & Morey-Klapsing, G. (2019). Instrumented cycling insoles for plantar pressure analysis. *Sensors*, 19(6), 1383. <https://doi.org/10.3390/s19061383>
- Priego, J. I., Encarnación, A., & Salvador, A. (2025). Foot morphology and insoles design in competitive cycling: A review on performance and injury prevention. *European Journal of Sport Science*, 25(2), 189–201. <https://doi.org/10.1080/17461391.2024.2384511>
- Ramos, N. V., Tovar, J. G., Gaviria, J., Orejuela, I. D. F., & Rojas, I. C. (2025). Relación entre perfil antropométrico, VO₂max y potencia en ciclistas de ruta y pista: una revisión narrativa. *Sportis: Revista Técnico-Científica del Deporte Escolar, Educación Física y Psicomotricidad*, 11(1), 1–20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9960837>
- Rodger, K., Bini, R. R., & Hume, P. A. (2021). Bike fitting and its relationship with comfort, injury and plantar pressure in cyclists. *Sports Biomechanics*, 20(5), 594–610. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1633578>
- Rodger, K., Plews, D., & Laursen, P. B. (2021). Cycling position effect on plantar pressure and performance. *European Journal of Sport Science*, 21(5), 678–686. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1754475>

- Rodriguez, L., Martínez, F., & Gómez, P. (2021). Neuromuscular fatigue and plantar pressure changes in cycling. *Sports Biomechanics*. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021>.
- Rodríguez-Perdomo, S., Ramírez-Campillo, R., & Andrade, D. C. (2021). Fatigue-induced changes in plantar pressure and neuromuscular performance. *Sport Sciences for Health*, 17(2), 405–412. <https://doi.org/10.1007/s11332-020-00688-7>
- Rannama, I., Pedak, K., Bazanov, B., & Port, J. (2015). Sprint cycling performance and asymmetry. *Journal of Human Sport and Exercise*, 10(1, Proc), S247-S256. <https://doi.org/10.14198/jhse.2015.10.Proc1.12>
- Sarialioğlu, A. (2025). Plantar pressure asymmetry and cardiovascular efficiency in athletes. *Journal of Human Kinetics*, 85, 55–64. <https://doi.org/10.2478/hukin-2025-0006>
- Sarialioğlu, A. (2025). Relationship between asymmetric plantar pressure distribution and cardiovascular performance in athletes. *Turkish Journal of Kinesiology*, 11(1), 45–53. <https://doi.org/10.31459/turkjin.1666684>
- Saunders, D. H., Trowell, D., & Morrison, S. (2019). Foot structure and function in sport: Implications for performance and injury. *Sports Biomechanics*, 18(5), 501–515. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1433878>
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Sobrido, M., & Rumbo, J. M. (2018). The systematic review: Plurality of approaches and methodologies. *Enfermería Clínica (English Edition)*, 28(6), 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.enfcle.2018.08.004>
- Varela, A., Tuimil, J. L., & Boullosa, D. (2022). Structural foot characteristics and their relationship with cycling economy and pedal force orientation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(5), 724–732. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0415>
- Wang, L., Zhang, Y., & Gu, Y. (2024). Biomechanical analysis of plantar pressure distribution and pedal force orientation during high-intensity cycling. *Sports Engineering*, 27(1), Article 8. <https://doi.org/10.1007/s12283-024-00455-5>

Fecha de recepción: 22/5/2026

Fecha de aceptación: 1/6/2026