



Asociación entre la altitud competitiva y los indicadores de carga externa en futbolistas profesionales

Association between competitive altitude and external load indicators in professional football players

Autores

Alexcys Herney Ciprian Sarmiento¹
Johan Ramiro Carrera Hurtado²
Julián David Galeano Virgen³
Javier Gaviria Chavarro⁴
Miguel Ángel Gómez García⁵
Carlos Julio Grisales Guerra⁶
Juan Carlos Ortigón Castaño⁷

^{1, 2, 6} Universidad de San Buenaventura Cali, Cali, Colombia

^{3, 5, 7} Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, Cali, Colombia

⁴ Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia

Autor de correspondencia:
Juan Carlos Ortigón Castaño
juankortegon@gmail.com

Recibido: 10-04-26
Aceptado: 30-05-26

Cómo citar en APA

Ciprian Sarmiento, A. H., Carrera Hurtado, J. R., Galeano Virgen, J. D., Gaviria Chavarro, J., Gómez García, M. Ángel, Grisales Guerra, C. J., & Ortigón Castaño, J. C. (2026). Asociación entre la altitud competitiva y los indicadores de carga externa en futbolistas profesionales. *Retos*, 83, 92-102. <https://doi.org/10.47197/retos.v83.119227>

Resumen

Introducción: El fútbol exige comprender cómo los factores contextuales influyen en el rendimiento. La competencia en diferentes altitudes, en Colombia, puede modificar las demandas físicas de los futbolistas.

Objetivo: Analizar la asociación entre altitud competitiva e indicadores de carga externa en futbolistas del Bogotá Fútbol Club, considerando el tiempo de juego y las medidas repetidas por jugador.

Metodología: Se realizó un estudio no experimental, retrospectivo, longitudinal y analítico, con medidas repetidas, en 22 jugadores durante 16 partidos. Los datos procedieron de registros de competición y la unidad de análisis fue la observación jugador-partido. Mediante GPS se evaluaron Player Load por minuto, high-speed running, velocidad máxima y sprints. La altitud se clasificó en baja altitud, altitud media y gran altitud, según rangos fisiológicos, y el tiempo jugado en ≤ 70 min y > 70 min. El análisis principal utilizó modelos mixtos, con jugador como efecto aleatorio; para los sprints se empleó un modelo de conteo y ecuaciones de estimación generalizadas como sensibilidad.

Resultados y discusión: No se observaron diferencias significativas atribuibles a la altitud ni interacción altitud $\times$ tiempo jugado. En contraste, jugar > 70 min se asoció con mayores valores de PLD/min, HSR y sprints. La velocidad máxima mostró una diferencia pequeña asociada al tiempo jugado, por lo que debe interpretarse con cautela.

Conclusiones: No se encontró evidencia suficiente para afirmar que la altitud modificara la carga externa evaluada. El tiempo de juego se relacionó con mayores cargas, especialmente acumulativas. Los resultados deben interpretarse considerando el desbalance entre altitudes y el número reducido de jugadores independientes.

Palabras clave

Altitud; fútbol; GPS; monitorización de carga; variables contextuales.

Abstract

Introduction: Football requires understanding how contextual factors influence performance. Competition at different altitudes, particularly in Colombia, may modify the physical demands imposed on players.

Objective: To analyze the association between competitive altitude and external load indicators in football players from Bogotá Fútbol Club, considering playing time and repeated measures by player.

Methodology: A non-experimental, retrospective, longitudinal, and analytical study with repeated measures was conducted in 22 players across 16 matches. Data were obtained from competition records, and the unit of analysis was the player-match observation. External load indicators were assessed using GPS: Player Load per minute, high-speed running, maximum speed, and sprints. Altitude was classified as low altitude, moderate altitude, and high altitude according to physiological ranges, and playing time was categorized as ≤ 70 min and > 70 min. The main analysis used mixed models, with player as a random effect; for sprints, a count model was applied, and generalized estimating equations were used as sensitivity analysis.

Results and discussion: No significant differences attributable to altitude were observed, nor was there an altitude $\times$ playing time interaction. In contrast, playing > 70 min was associated with higher PLD/min, HSR, and sprint values. Maximum speed showed a small difference associated with playing time and should be interpreted with caution.

Conclusions: There was insufficient evidence to state that altitude modified the evaluated external load indicators. Playing time was related to higher loads, especially cumulative variables. These results should be interpreted considering the imbalance between altitude categories and the reduced number of independent players.

Keywords

Altitude; football; GPS; load monitoring; contextual variables.

Introducción

El fútbol es un deporte caracterizado por altas demandas fisiológicas, donde se alternan situaciones de alta y baja intensidad en contextos dinámicos e impredecibles (Lampre-Ezquerro et al., 2026). En los últimos años, el desarrollo de los procesos de preparación física ha incrementado el interés por entender los factores que condicionan el rendimiento competitivo (Motato et al., 2024; Sarmiento et al., 2024). En este sentido, uno de los elementos contextuales que puede aumentar la exigencia física es la altitud, especialmente en escenarios donde los equipos compiten en diferentes condiciones geográficas (McSharry, 2007).

La competición en altitud implica un estrés fisiológico adicional asociado a la hipoxia hipobárica, debido a la reducción en la presión parcial de oxígeno cuando aumenta la altitud. Esta condición puede afectar la capacidad aeróbica y los procesos de recuperación tras esfuerzos de alta intensidad (Garvican et al., 2014; Pullinger et al., 2019). En consecuencia, diversos estudios han analizado cómo la altitud puede actuar como un factor limitante o modulador del rendimiento físico en deportistas (Alanis et al., 2022; Draper et al., 2023; Ramchandani et al., 2024) por lo que es fundamental identificar cuáles variables se ven afectadas por esta exposición, con el fin de ajustar los procedimientos de preparación. No obstante, Manimmanakorn et al. (2025) demostraron que el entrenamiento en condiciones de hipoxia puede contribuir a optimizar el rendimiento y reducir el riesgo de sobreentrenamiento, lo que genera un contraste con la evidencia previa y sugiere la necesidad de continuar investigando estos procesos.

En el contexto colombiano, esta problemática adquiere mayor relevancia debido a la variabilidad geográfica del país, donde los equipos compiten desde el nivel del mar hasta más de 2.800 m s. n. m. Esta situación obliga a los futbolistas a adaptarse constantemente a diferentes condiciones ambientales durante la competición. En el caso del Bogotá Fútbol Club, cuya sede se encuentra a aproximadamente 2.640 m s. n. m., los jugadores se enfrentan a escenarios que van desde ciudades como Tunja (2.820 m s. n. m.) hasta Barrancabermeja (75 m s. n. m.), lo que puede generar variaciones en el rendimiento físico (Nassis, 2013).

Con respecto al monitoreo de la carga física, los sistemas de posicionamiento global (GPS) se han afianzado como una herramienta primordial en el análisis del rendimiento en el fútbol profesional (Gaviria Chavarro et al., 2025). Estos dispositivos permiten cuantificar variables locomotoras como la distancia recorrida, la velocidad, el número de sprints y la carga mecánica del movimiento, facilitando la planificación del entrenamiento y la prevención de lesiones (Bourdon et al., 2017; Buchheit y Simpson, 2017; Impellizzeri et al., 2019). Además, los sistemas GPS que incorporan acelerómetros permiten evaluar de manera precisa la carga externa generada por los jugadores durante la competición (Scott et al., 2016).

A pesar del creciente uso de tecnología GPS en el análisis del rendimiento en fútbol, la evidencia sobre el impacto específico de la altitud en indicadores de carga externa en condiciones reales de competición sigue siendo limitada (Bohner et al., 2015). Además, pocos estudios han abordado este fenómeno en contextos latinoamericanos y mediante modelos estadísticos que consideren la naturaleza longitudinal de los datos, como las ecuaciones de estimación generalizadas. En consecuencia, el objetivo de este estudio fue analizar la asociación entre la altitud competitiva y los indicadores de carga externa en jugadores profesionales del Bogotá Fútbol Club, mediante tecnología GPS, considerando el tiempo de juego y la estructura de medidas repetidas por jugador.

Método

Diseño

Se realizó un estudio no experimental, retrospectivo, longitudinal y analítico con medidas repetidas, orientado a analizar el comportamiento de variables de carga externa en futbolistas profesionales durante la competición. El estudio tuvo carácter no experimental, dado que no se realizó intervención ni manipulación de variables independientes. Los datos fueron obtenidos a partir de registros reales de competición, por lo que la unidad de análisis correspondió a observaciones jugador-partido dentro del contexto natural del fútbol profesional.



El diseño contempló un esquema factorial 3×2, definido por el nivel de altitud —baja altitud, altitud media, gran altitud— y el tiempo de juego —≤70 min y >70 min—. La clasificación de la altitud se realizó con fines analíticos y aplicados, tomando como referencia criterios fisiológicos de clasificación de la altura en metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con esta clasificación, la baja altitud correspondió a escenarios entre 0 y 1.000 m s. n. m.; la altitud media se ubicó entre 1.000 y 2.000 m s. n. m.; y la gran altitud comprendió valores entre 2.000 y 5.000 m s. n. m. La categoría de muy gran altitud, superior a 5.000 m s. n. m., no fue considerada en el presente estudio, dado que ningún escenario competitivo alcanzó ese rango.

En este estudio, las altitudes de los escenarios deportivos oscilaron entre 18 y 2.820 m s. n. m., lo que permitió clasificar los partidos en tres categorías: baja altitud, altitud media y gran altitud. Esta categorización permitió diferenciar partidos disputados en condiciones geográficas con distinta exigencia ambiental y facilitar la interpretación aplicada de los resultados en el contexto del fútbol profesional colombiano.

Por su parte, el punto de corte de 70 minutos se utilizó como criterio operativo para diferenciar jugadores con menor y mayor exposición competitiva durante el partido. Dado que un mismo jugador aportó múltiples registros durante los partidos analizados, la estructura de los datos fue considerada jerárquica, con observaciones anidadas dentro de jugador. No obstante, se reconoce que el tratamiento categórico de la altitud y del tiempo de juego puede reducir la sensibilidad para detectar relaciones dosis-respuesta, por lo que esta decisión fue considerada en la interpretación de los resultados y se incorporó como limitación metodológica del estudio.

Muestra

La población objeto de estudio estuvo conformada por 22 futbolistas profesionales del Bogotá Fútbol Club, pertenecientes a la plantilla del segundo semestre de la temporada 2025. Se incluyeron aquellos jugadores que participaron al menos en un partido como local y uno como visitante, quienes se distribuyeron de la siguiente manera: 2 arqueros, 4 centrales, 4 laterales, 4 volantes, 5 extremos y 3 delanteros.

Los jugadores disputaron un total de 16 partidos oficiales, donde 8 fueron de visitante en diferentes ciudades de Colombia y 8 de local en el estadio Olaya Herrera (2.640 m s. n. m.), en la ciudad de Bogotá. Las altitudes de los escenarios deportivos oscilaron entre 18 y 2.820 m s. n. m., lo que permitió clasificar los partidos en categorías de baja altitud, altitud media y gran altitud.

Variables

Las variables dependientes analizadas fueron obtenidas mediante dispositivos GPS Catapult y correspondieron a indicadores de carga externa: Player Load por minuto (PLD/min), High-Speed Running (HSR, m), velocidad máxima (km/h) y cantidad de sprints. Como variables independientes se consideraron la altitud competitiva - clasificada en baja altitud, altitud media y gran altitud - y el tiempo de juego, categorizado en ≤70 min y >70 min.

La altitud competitiva fue considerada la variable contextual principal del estudio, dado que corresponde a una condición ambiental externa al jugador que puede modificar las demandas físicas durante la competición. En el deporte, las variables contextuales comprenden factores externos como las condiciones ambientales, geográficas y competitivas, entre ellas la temperatura, la humedad y la altitud, las cuales pueden influir en el rendimiento físico y técnico de los deportistas (Illmer y Daumann, 2022; Draper et al., 2023; Trewin et al., 2017). En este sentido, la altitud fue incorporada como variable contextual de referencia para analizar su asociación con los indicadores de carga externa registrados mediante GPS.

Adicionalmente, se registró la posición de juego de los futbolistas como variable descriptiva del rol competitivo. No obstante, debido al reducido número de jugadores por posición y al desbalance en la distribución de observaciones, esta variable no fue incluida como efecto fijo en los modelos principales, con el fin de evitar sobreajuste e inestabilidad en las estimaciones. Esta decisión fue considerada en la interpretación de los resultados y se reconoce como una limitación metodológica del estudio.

Los datos fueron registrados durante partidos oficiales por medio de dispositivos GPS asignados individualmente a cada jugador, activados previamente al inicio del calentamiento y sincronizados para garantizar la precisión temporal de los registros.

Análisis de datos

El análisis estadístico se orientó a determinar si los indicadores de carga externa diferían según la altitud y el tiempo jugado, considerando la estructura de medidas repetidas por jugador (Diggle et al., 2002). En primer lugar, se realizó una caracterización descriptiva del conjunto de datos, estimando la cantidad de observaciones en cada combinación altitud × tiempo jugado y el número de registros aportados por cada futbolista.

Para el análisis inferencial principal se emplearon modelos mixtos, debido a que un mismo jugador aportó varias observaciones durante la competición. Para las variables continuas PLD/min, HSR y velocidad máxima se ajustaron modelos mixtos lineales con efectos fijos de altitud, tiempo jugado y la interacción altitud × tiempo jugado, incorporando un intercepto aleatorio por jugador. Esta estrategia permitió controlar la dependencia intraindividual de los registros y el desbalance en el número de observaciones por futbolista.

En el caso de PLD/min, al tratarse de una variable normalizada por minuto, la comparación según categorías de tiempo jugado se interpretó como un análisis exploratorio de la intensidad relativa de la carga externa entre jugadores con diferente exposición competitiva, y no como una medida acumulativa del volumen total de participación. Por tanto, los resultados asociados al tiempo de juego en esta variable fueron interpretados con cautela, considerando que pueden reflejar diferencias en la intensidad relativa del esfuerzo y no únicamente el efecto de la duración del partido.

Para la cantidad de sprints, al tratarse de una variable de conteo, se empleó un modelo para datos de conteo con estructura compatible con la sobredispersión observada. Los resultados se expresaron mediante razones de tasas o valores esperados, según corresponda.

La categoría de referencia fue baja altitud y tiempo jugado ≤ 70 min. Los resultados se reportaron mediante estimaciones puntuales, intervalos de confianza del 95% y valores p. Adicionalmente, se realizó un análisis de sensibilidad mediante ecuaciones de estimación generalizadas, considerando al jugador como clúster (Zeger y Liang, 1986; Gosh et al., 2011), con el propósito de verificar la consistencia de los hallazgos principales. Dado el número reducido de jugadores independientes, los resultados GEE se interpretaron de manera complementaria y no como inferencia principal.

Resultados

La base de datos se estructuró en un diseño factorial 3×2 definido por la altitud (baja altitud, altitud media, gran altitud) y el tiempo jugado (≤ 70 min y > 70 min). La distribución de observaciones por celda fue desigual, con mayor concentración en gran altitud (≤ 70 min: $n=67$; > 70 min: $n=83$), mientras que en baja altitud se registraron tamaños menores (≤ 70 min: $n=16$; > 70 min: $n=27$) y en altitud media conteos intermedios (≤ 70 min: $n=21$; > 70 min: $n=24$).

Para la inferencia principal se ajustaron modelos mixtos, considerando al jugador como efecto aleatorio. En las variables continuas se emplearon modelos mixtos lineales, mientras que para la cantidad de sprints se utilizó un modelo para datos de conteo. En todos los modelos se incluyeron como efectos fijos la altitud, el tiempo jugado y la interacción altitud × tiempo jugado.

En PLD/min, no se identificó un efecto estadísticamente significativo de la altitud ($\chi^2=1,14$; $p=0,566$), ni de la interacción altitud × tiempo jugado ($\chi^2=1,63$; $p=0,443$). En cambio, el tiempo jugado mostró un efecto significativo ($\chi^2=85,84$; $p<0,001$), con mayores valores estimados en la categoría > 70 min.

En HSR, tampoco se observaron diferencias atribuibles a la altitud ($\chi^2=0,70$; $p=0,704$), ni interacción altitud × tiempo jugado ($\chi^2=0,42$; $p=0,812$). El tiempo jugado fue significativo ($\chi^2=29,32$; $p<0,001$), con mayores valores en los jugadores que participaron más de 70 minutos.

Para la velocidad máxima, la altitud no mostró un efecto significativo ($\chi^2=0,26$; $p=0,879$), ni se observó interacción altitud $\times$ tiempo jugado ($\chi^2=1,11$; $p=0,573$). El tiempo jugado presentó una asociación estadísticamente significativa de pequeña magnitud ($\chi^2=4,46$; $p=0,035$), aunque este resultado debe interpretarse con cautela por la evaluación simultánea de múltiples desenlaces.

En la cantidad de sprints, no se observó efecto significativo de la altitud ($\chi^2=0,39$; $p=0,823$). El tiempo jugado >70 min se asoció con una mayor tasa esperada de sprints (IRR=1,82; IC95%: 1,08–3,07; $p=0,024$), mientras que la interacción altitud $\times$ tiempo jugado no alcanzó significancia estadística ($\chi^2=4,93$; $p=0,085$).

Tabla 1. Pruebas Globales de los Modelos Principales

Variable	Efecto	χ^2	gl	p
PLD/min	Altitud	1,14	2	0,566
PLD/min	Tiempo jugado	85,84	1	<0,001
PLD/min	Altitud $\times$ tiempo	1,63	2	0,443
HSR	Altitud	0,70	2	0,704
HSR	Tiempo jugado	29,32	1	<0,001
HSR	Altitud $\times$ tiempo	0,42	2	0,812
Velocidad máxima	Altitud	0,26	2	0,879
Velocidad máxima	Tiempo jugado	4,46	1	0,035
Velocidad máxima	Altitud $\times$ tiempo	1,11	2	0,573
Sprints	Altitud	0,39	2	0,823
Sprints	Tiempo jugado	5,11	1	0,024
Sprints	Altitud $\times$ tiempo	4,93	2	0,085

Nota. Para PLD/min, HSR y velocidad máxima se emplearon modelos mixtos lineales. Para cantidad de sprints se utilizó un modelo para datos de conteo. El jugador fue considerado como unidad de dependencia en la estructura del análisis. Los valores p corresponden a pruebas globales de los efectos fijos.

Tabla 2. Valores Estimados por Altitud y Tiempo Jugado

Variable	Altitud	≤ 70 min	> 70 min
PLD/min	Baja altitud	466,95	961,65
PLD/min	Media altitud	515,32	923,18
PLD/min	Gran altitud	513,08	951,39
HSR	Baja altitud	248,79	488,89
HSR	Media altitud	245,58	454,92
HSR	Gran altitud	269,30	505,38
Velocidad máxima	Baja altitud	27,72	29,09
Velocidad máxima	Media altitud	27,75	28,69
Velocidad máxima	Gran altitud	27,53	29,16
Sprints	Baja altitud	3,19	5,81
Sprints	Media altitud	3,67	4,54
Sprints	Gran altitud	3,48	6,20

Nota. Los valores corresponden a estimaciones marginales del modelo. Para sprints se reportan valores esperados del modelo de conteo. La diferencia más consistente se observó entre categorías de tiempo jugado, mientras que las diferencias entre altitudes fueron pequeñas y estadísticamente no significativas.

Como análisis de sensibilidad, se ajustaron modelos GEE considerando al jugador como clúster. Los resultados fueron consistentes con el análisis principal: no se identificaron efectos estadísticamente significativos de la altitud ni de la interacción altitud $\times$ tiempo jugado. El tiempo jugado mantuvo asociación con PLD/min, HSR y cantidad de sprints. En velocidad máxima, el efecto del tiempo jugado fue marginal, por lo que se mantuvo una interpretación cautelosa.

Tabla 3. Análisis de Sensibilidad Mediante GEE

Variable	Altitud p	Tiempo jugado p	Interacción p
PLD/min	0,679	<0,001	0,551
HSR	0,715	<0,001	0,767
Velocidad máxima	0,757	0,049	0,213
Sprints	0,879	0,009	0,290

Nota. El análisis GEE se presenta como sensibilidad debido al número reducido de jugadores independientes. La consistencia entre modelos refuerza la interpretación general, aunque la inferencia principal se basa en los modelos mixtos.

Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la asociación entre la altitud competitiva y los indicadores de carga externa en futbolistas profesionales, considerando el tiempo de juego y la estructura de medidas repetidas por jugador. Los resultados principales, obtenidos mediante modelos mixtos y contrastados con GEE como análisis de sensibilidad, no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas atribuibles a la altitud en PLD/min, HSR, velocidad máxima ni cantidad de sprints. Tampoco se observó interacción significativa entre altitud y tiempo jugado. En contraste, el tiempo de participación superior a 70 minutos se asoció con mayores valores de carga externa, particularmente en PLD/min, HSR y cantidad de sprints, mientras que la velocidad máxima presentó una asociación de menor magnitud.

La ausencia de diferencias significativas por altitud debe interpretarse con prudencia, especialmente porque la literatura muestra resultados heterogéneos sobre el efecto de competir en diferentes elevaciones. Desde una perspectiva fisiológica, la altitud puede afectar el rendimiento mediante dos mecanismos principales: por una parte, la reducción de la presión parcial de oxígeno puede disminuir la capacidad aeróbica, aumentar la intensidad relativa del esfuerzo y dificultar la recuperación entre acciones intermitentes de alta intensidad; por otra, la menor densidad del aire puede modificar la resistencia aerodinámica y favorecer algunas acciones de alta velocidad, aunque también puede alterar aspectos técnicos relacionados con la trayectoria del balón y el control motor (Levine et al., 2008). En este sentido, el efecto de la altitud en el fútbol no puede asumirse como lineal ni uniforme, ya que depende de la altura del escenario, la duración de la exposición, la aclimatación previa, el perfil físico de los jugadores, la táctica del equipo y las condiciones específicas del partido.

Los hallazgos del presente estudio coinciden parcialmente con investigaciones que no han encontrado una relación clara entre la altitud y algunos indicadores de rendimiento físico o deportivo. Alanis et al. (2022), al analizar partidos de un equipo profesional mexicano en diferentes niveles de altitud, no encontraron relación significativa entre la altitud y variables como distancia total recorrida, número de sprints o resultado deportivo. Este antecedente es relevante porque, al igual que en el presente estudio, los datos proceden de contextos reales de competición y no de situaciones experimentales controladas. Sin embargo, también existen estudios que han reportado efectos negativos de la altitud sobre el rendimiento físico. Garvican et al. (2014) observaron menor rendimiento de carrera y mayor fatiga en fútbol jugado a 1.600 m, mientras que Nassis (2013), a partir del análisis de partidos del Mundial de 2010, concluyó que jugar por encima de 1.200 m s. n. m. podía afectar negativamente indicadores de resistencia. Estas diferencias entre estudios sugieren que el impacto de la altitud puede depender de la interacción entre exposición ambiental, aclimatación, nivel competitivo, características del torneo y variables contextuales del partido.

Una posible explicación para la ausencia de efectos significativos de la altitud en la presente investigación es que los jugadores pertenecían a un club con sede habitual en Bogotá, ciudad ubicada aproximadamente a 2.640 m s. n. m. Esta exposición crónica podría haber generado cierto grado de adaptación a la hipoxia hipobárica, atenuando diferencias esperadas entre escenarios de baja altitud, altitud media y gran altitud. No obstante, esta explicación debe considerarse solo como una hipótesis plausible y no como una conclusión directa, dado que el estudio no incorporó mediciones fisiológicas como $\text{VO}_2\text{máx}$, saturación de oxígeno, hemoglobina, frecuencia cardíaca, percepción subjetiva del esfuerzo o marcadores de recuperación. Estudios sobre fútbol y altitud han señalado que la aclimatación puede ser determinante para reducir el deterioro del rendimiento en condiciones hipóxicas, pero su evaluación requiere indicadores fisiológicos complementarios y no solo variables externas derivadas de GPS (Gore et al., 2013; Ramchandani et al., 2024).

El efecto más consistente del estudio fue el tiempo jugado. Los jugadores que participaron más de 70 minutos presentaron mayores valores estimados de PLD/min, HSR y cantidad de sprints. Este hallazgo es coherente con la naturaleza acumulativa de varias métricas de carga externa: cuanto mayor es la exposición competitiva, mayor es la oportunidad de acumular metros a alta velocidad y acciones de sprint. Además, revisiones recientes han señalado que el tiempo de competición influye en factores físicos, técnicos y de rendimiento en fútbol (Milheiro et al., 2026). En esta misma línea, Tojo et al. (2023) mostraron que el tiempo efectivo de juego puede modificar variables físicas y técnico-tácticas, incluyendo distancia total, carrera a velocidad moderada, HSR, aceleraciones y desaceleraciones. Por tanto, los resultados del



presente estudio no deben interpretarse necesariamente como evidencia de mayor eficiencia física en quienes juegan más de 70 minutos, sino como una mayor acumulación de carga externa derivada de una mayor exposición al partido.

Este punto es especialmente importante para HSR y cantidad de sprints. Ambas variables dependen directamente del tiempo disponible para ejecutar acciones de alta intensidad. Por ello, comparar jugadores con ≤ 70 min frente a >70 min usando métricas acumuladas puede reflejar, en parte, una diferencia de duración más que una diferencia fisiológica o contextual independiente. En futuras investigaciones sería recomendable trabajar con minutos reales jugados y construir indicadores relativos, como HSR/min y sprints/min, o emplear modelos de conteo con exposición u offset cuando la variable dependiente sea el número de acciones. Este enfoque permitiría separar con mayor precisión el efecto del volumen de participación del efecto del contexto competitivo.

En el caso de PLD/min, el hallazgo de mayores valores en jugadores con >70 minutos resulta metodológicamente más interesante, porque se trata de una variable expresada por minuto. Sin embargo, su interpretación también debe ser cautelosa. Una posible explicación es que los jugadores que superan los 70 minutos suelen ocupar un rol competitivo más estable dentro del equipo, presentar mayor capacidad física o participar en contextos tácticos que demandan mayor continuidad de movimiento. Silva et al. (2022) encontraron que jugadores jóvenes con mayor tiempo de participación presentaban mejor desempeño en pruebas de capacidad aeróbica, lo que sugiere que el tiempo de juego puede estar relacionado con el nivel físico y con decisiones técnico-tácticas del cuerpo técnico. En el presente estudio, sin embargo, no se evaluaron directamente capacidades fisiológicas ni criterios de selección del entrenador, por lo que no es posible establecer si el mayor PLD/min en >70 minutos responde a mejor condición física, mayor exigencia táctica, perfil posicional o características del partido.

La velocidad máxima presentó una asociación pequeña con el tiempo jugado, aunque este resultado debe ser interpretado con especial cautela. A diferencia de HSR y sprints, la velocidad máxima no es una variable acumulativa, sino un valor pico que puede depender de situaciones específicas del juego: transiciones ofensivas, espacios disponibles, duelos, contraataques, posición de juego y comportamiento del rival. Además, en el análisis de sensibilidad mediante GEE el efecto fue marginal, lo que refuerza la necesidad de no sobreinterpretar este hallazgo. Desde una perspectiva fisiológica, la altitud podría tener efectos contrapuestos sobre la velocidad máxima: la menor densidad del aire puede reducir la resistencia aerodinámica, mientras que la hipoxia puede dificultar la recuperación entre esfuerzos repetidos de alta intensidad (Levine et al., 2008). Por tanto, la velocidad máxima en competición debe entenderse como una variable altamente contextual, más que como un marcador directo y aislado del efecto de la altitud.

La ausencia de interacción significativa entre altitud y tiempo jugado indica que, dentro de la precisión estadística del presente estudio, el efecto del tiempo de participación no varió de forma clara entre las categorías de altitud. Esto sugiere que los jugadores con >70 minutos acumularon mayores demandas independientemente de si el partido se disputó en baja altitud, altitud media o gran altitud. Sin embargo, este resultado no permite descartar completamente un posible efecto contextual de la altitud, ya que la base presentó desbalance entre celdas, con mayor concentración de observaciones en gran altitud, y algunas variables situacionales, como localía y resultado, estuvieron asociadas con la categoría de altitud. En deportes colectivos, las demandas físicas no dependen únicamente del ambiente, sino también de factores como posición de juego, resultado parcial, modelo táctico, nivel del rival, localía y fase competitiva (Sarmiento et al., 2024). Por ello, la altitud debe interpretarse dentro de un sistema competitivo complejo y no como un factor aislado.

Desde el punto de vista metodológico, el uso de modelos mixtos como análisis principal fue pertinente debido a la estructura de medidas repetidas y al número desigual de registros por jugador. Esta estrategia permitió considerar la dependencia intraindividual de las observaciones y manejar el desbalance natural de los datos competitivos. El análisis de sensibilidad mediante GEE fue útil para verificar la consistencia general de los hallazgos; sin embargo, su interpretación debe mantenerse como complementaria debido al número reducido de jugadores independientes. La convergencia entre los modelos mixtos y GEE fortalece la conclusión general de ausencia de evidencia estadística suficiente para afirmar un efecto claro de la altitud, aunque no elimina las limitaciones derivadas del tamaño muestral y del desbalance contextual.

Los resultados sugieren que, en esta muestra, el tiempo de participación fue un factor más relevante que la altitud para explicar la carga externa registrada. Para el cuerpo técnico, esto implica que el control de la carga competitiva no debería centrarse únicamente en la ciudad o altitud del partido, sino también en la duración real de la participación, el rol del jugador, la acumulación de esfuerzos de alta intensidad y el contexto táctico. La monitorización mediante GPS es útil para orientar estas decisiones, siempre que las métricas se interpreten considerando su naturaleza: algunas variables reflejan volumen acumulado, otras expresan intensidad relativa y otras corresponden a eventos máximos o discretos. En línea con los consensos sobre monitoreo de carga, la interpretación de la carga externa debe integrarse con información interna, contextual y clínica para apoyar decisiones de entrenamiento, recuperación y prevención de lesiones (Bourdon et al., 2017; Impellizzeri et al., 2019).

Finalmente, este estudio presenta limitaciones que deben considerarse. Primero, la altitud fue tratada como variable categórica, lo que facilita la interpretación práctica, pero reduce la sensibilidad para detectar posibles relaciones dosis-respuesta con los metros sobre el nivel del mar. Segundo, no se incluyeron mediciones fisiológicas complementarias, lo cual limita la posibilidad de explicar si la ausencia de diferencias por altitud se relaciona con aclimatación, tolerancia individual o características del esfuerzo competitivo. Tercero, algunas variables como HSR y cantidad de sprints son acumulativas y dependen directamente del tiempo de exposición; por tanto, futuras investigaciones deberían incorporar minutos reales jugados y métricas relativas por minuto. Cuarto, el número de jugadores independientes fue reducido y la distribución por categorías de altitud fue desbalanceada, lo que limita la generalización de los resultados.

Futuros estudios deberían integrar muestras multicéntricas, seguimiento fisiológico, variables contextuales del partido y modelos que incorporen simultáneamente jugador, partido, posición y tiempo real de exposición.

Conclusiones

En el presente estudio no se encontró evidencia estadística suficiente para afirmar que la altitud competitiva modificara los indicadores de carga externa analizados en futbolistas profesionales. Tampoco se observó evidencia de interacción entre altitud y tiempo jugado. En contraste, el tiempo de participación superior a 70 minutos se asoció con mayores valores de carga externa, especialmente en PLD/min, HSR y cantidad de sprints.

Estos hallazgos deben interpretarse con cautela, debido a que algunas variables son acumulativas y dependen directamente del tiempo de exposición competitiva. Además, el desbalance entre categorías de altitud, la posible asociación con otras variables contextuales y el número reducido de jugadores independientes limitan la generalización de los resultados. Desde una perspectiva aplicada, los datos sugieren que el tiempo de participación puede ser un factor más relevante que la altitud para explicar la carga externa observada en esta muestra. Por tanto, el control de la carga en futbolistas profesionales debería considerar no solo la altitud del escenario, sino también la duración de la participación, el rol del jugador y el contexto específico del partido.

Agradecimientos

Se agradece a las instituciones que facilitaron la recolección y procesamiento de los datos.

Financiación

La investigación fue financiada con recursos propios de los investigadores.

Afiliación de los autores

Alexcys Herney Ciprian Sarmiento

Universidad de San Buenaventura Cali, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Escuela de Deporte, Cali, Colombia.

Johan Ramiro Carrera Hurtado

Universidad de San Buenaventura Cali, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Escuela de Deporte, Cali, Colombia.

Julián David Galeano Virgen

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, Cali, Colombia.

Javier Gaviria Chavarro

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ciencias Básicas, Cali, Colombia.

Miguel Ángel Gómez García

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, Cali, Colombia.

Carlos Julio Grisales Guerra

Universidad de San Buenaventura Cali, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Escuela de Deporte, Cali, Colombia.

Juan Carlos Ortégón Castaño

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, Cali, Colombia.

Referencias

- Alanis, A., Salas, O., Salas, K., Quintero, I., Carranza, Y. y Salazar, L. (2022). Playing at altitude. Performance of a Mexican professional football team at different level of altitude. *Apunts Sports Medicine*, 57(215), 100391. <https://doi.org/10.1016/j.apunsm.2022.100391>
- Bohner, J. D., Hoffman, J. R., McCormack, W. P., Scanlon, T. C., Townsend, J. R., Stout, J. R., Fragala, M. S. y Fukuda, D. H. (2015). Moderate altitude affects high-intensity running performance in a collegiate women's soccer game. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 147-154. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0070>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gustin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J. y Gregson, W. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl. 2), S2-161-S2-170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
- Buchheit, M. y Simpson, B. M. (2017). Player-tracking technology: Half-full or half-empty glass? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl. 2), S2-35-S2-41. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0499>
- Diggle, P. J., Heagerty, P., Liang, K.-Y. y Zeger, S. L. (2002). *Analysis of longitudinal data* (2.^a ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198524847.001.0001>
- Draper, G., Wright, M. D., Ishida, A., Chesterton, P., Portas, M. y Atkinson, G. (2023). Do environmental temperatures and altitudes affect physical outputs of elite football athletes in match conditions? A systematic review of the "real world" studies. *Science and Medicine in Football*, 7(1), 81-92. <https://doi.org/10.1080/24733938.2022.2033823>
- Garvican, L. A., Hammond, K., Varley, M. C., Gore, C. J., Billaut, F. y Aughey, R. J. (2014). Lower running performance and exacerbated fatigue in soccer played at 1600 m. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 397-404. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2012-0375>



- Gaviria Chavarro, J., Motato Rodriguez, L. A., Galeano Virgen, J. D., Ortegon Castaño, J. C., Muñoz Chavez, L. F. y Hurtado Hurtado, J. S. (2025). Comportamiento del perfil de movimiento en un club de fútbol femenino profesional durante competencia según algunas variables contextuales. *Retos*, 65, 520–531. <https://doi.org/10.47197/retos.v65.111287>
- Gore, C. J., Aughey, R. J., Bourdon, P. C., Garvican-Lewis, L. A., Soria, R., Jimenez Claros, J. C., Sargent, C., Roach, G. D., Buchheit, M., Simpson, B. M., Hammond, K., Kley, M., Wachsmuth, N., Pepper, M., Edwards, A., Cuenca, D., Vidmar, T., Spielvogel, H. y Schmidt, W. F. (2013). Methods of the international study on soccer at altitude 3600 m (ISA3600). *British Journal of Sports Medicine*, 47(Suppl. 1), i80–i85. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092770>
- Gosho, M., Hamada, C. y Yoshimura, I. (2011). Criterion for the selection of a working correlation structure in the generalized estimating equation approach for longitudinal balanced data. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 40(21), 3839–3856. <https://doi.org/10.1080/03610926.2010.501938>
- Illmer, S. y Daumann, F. (2022). The effects of weather factors and altitude on physical and technical performance in professional soccer: A systematic review. *JSAMS Plus*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.jsampl.2022.100002>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M. y Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
- Lampre-Ezquerria, M., Arjol-Serrano, J. L., López-Del Campo, R., Resta, R., Lozano, D. y Mainer-Pardos, E. (2026). Physical match performance of professional men's football players from different competitive levels during direct competition. *Applied Sciences*, 16(3), 1480. <https://doi.org/10.3390/app16031480>
- Levine, B. D., Stray-Gundersen, J. y Mehta, R. D. (2008). Effect of altitude on football performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(Suppl. 1), 76–84. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00835.x>
- Manimmanakorn, A., Manimmanakorn, N., Thuwakum, W., Simpson, C. W. C. y Hamlin, M. J. (2025). Variability in response to an 8-week low-altitude football training camp supplemented with intermittent hypoxic training. *Journal of Physical Education and Sport*, 25(6), 1149–1157. <https://doi.org/10.7752/jpes.2025.06127>
- McSharry, P. E. (2007). Effect of altitude on physiological performance: A statistical analysis using results of international football games. *BMJ*, 335(7633), 1278–1281. <https://doi.org/10.1136/bmj.39393.451516.AD>
- Milheiro, A., Baptista, I., Nakamura, F. Y., Sarmiento, H., Clemente, F. M., Silva, J. R. y Afonso, J. (2026). The influence of competition time on soccer players' performance factors: A scoping review with evidence gap map. *Sports Medicine*, 56(1), 169–199. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02321-3>
- Motato, L. A., Ortegon Castaño, J. C., Galeano Virgen, J. D., Gaviria Chavarro, J., Orejuela Aristizabal, D. F. y Mena Montañez, L. K. (2024). Efectos fijos y aleatorios de la carga física con respecto a la posición de juego, según el tipo de microciclo en fútbol femenino con tecnología IMU. *Retos*, 59, 953–962. <https://doi.org/10.47197/retos.v59.106782>
- Nassis, G. P. (2013). Effect of altitude on football performance: Analysis of the 2010 FIFA World Cup data. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 703–707. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825d999d>
- Pullinger, S. A., Bradley, P. S., Causer, J., Ford, P. R., Newlove, A., Patel, K., Reid, K., Robertson, C. M., Burniston, J. G. y Doran, D. A. (2019). Football-induced fatigue in hypoxia impairs repeated sprint ability and perceptual-cognitive skills. *Science and Medicine in Football*, 3(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/24733938.2019.1591633>
- Ramchandani, R., Florica, I. T., Zhou, Z., Alemi, A. y Baranchuk, A. (2024). Review of athletic guidelines for high-altitude training and acclimatization. *High Altitude Medicine & Biology*, 25(2), 113–121. <https://doi.org/10.1089/ham.2023.0042>
- Sarmiento, H., Martinho, D. V., Gouveia, É. R., Afonso, J., Chmura, P., Field, A., Ordoñez Saavedra, N., Oliveira, R., Praça, G. y Silva, R. (2024). The influence of playing position on physical, physiological, and technical demands in adult male soccer matches: A systematic scoping review with evidence gap map. *Sports Medicine*, 54(11), 2841–2864. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02088-z>



- Scott, M. T. U., Scott, T. J. y Kelly, V. G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: A brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1470–1490. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001221>
- Silva, A. F., Clemente, F. M., Leão, C., Oliveira, R., Badicu, G., Nobari, H., Poli, L., Carvutto, R., Greco, G., Fischetti, F. y Cataldi, S. (2022). Physical fitness variations between those playing more and those playing less time in the matches: A case-control study in youth soccer players. *Children*, 9(11), 1786. <https://doi.org/10.3390/children9111786>
- Tojo, Ó., Spyrou, K., Teixeira, J., Pereira, P. y Brito, J. (2023). Effective playing time affects technical-tactical and physical parameters in football. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1229595. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1229595>
- Trewin, J., Meylan, C., Varley, M. C. y Cronin, J. (2017). The influence of situational and environmental factors on match-running in soccer: A systematic review. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 183–194. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1329589>
- Zeger, S. L. y Liang, K.-Y. (1986). Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. *Biometrics*, 42(1), 121–130. <https://doi.org/10.2307/2531248>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Alexcys Herney Ciprian Sarmiento	ahciprians@correo.usbcali.edu.co	Autor/a
Johan Ramiro Carrera Hurtado	jrcarrerah@correo.usbcali.edu.co	Autor/a
Julián David Galeano Virgen	Julian.galeano@endeporte.edu.co	Autor/a
Javier Gaviria Chavarro	Javier.gaviria@gmail.com	Autor/a
Miguel Ángel Gómez García	Gomezgarciamiguel440@gmail.com	Autor/a
Carlos Julio Grisales Guerra	cjgrisalesg@usbcali.edu.co	Autor/a
Juan Carlos Ortégón Castaño	Juanca.ortegon@endeporte.edu.co	Autor/a