Ciencia y Educación
(L-ISSN: 2790-8402 E-ISSN: 2707-3378)
Vol. 6 No. 6.1
Edición Especial II 2025

COMPARACIÓN DEL VO2 MAX ENTRE CICLISTAS DE RUTA Y BMX RACING DE ALTO RENDIMIENTO

COMPARISON OF VO2 MAX IN HIGH-PERFORMANCE ROAD CYCLISTS AND BMX RACING RIDERS

Autores: [1]Ruber Alexis Chiles Huera y [2]Maritza Gisella Paula Chica.
[1]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-1626-7814
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7435-7959
[1]E-mail de contacto: ruber.chileshuera9236@upse.edu.ec
[2]E-mail de contacto: gpaula@upse.edu.ec
Afiliación: [1*2*]Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).
Artículo recibido: 15 de Junio de 2025
Artículo revisado: 19 de Junio del 2025
Artículo aprobado: 28 de Julio del 2025
[1]Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador). Maestrante de la Maestría en Entrenamiento Deportivo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).
[2]Licenciatura en Educación Física y Deporte. Escuela Internacional de Educación Física y Deporte, (Cuba). Máster en Administración y Gestión de la Cultura Física y Deportes Instituto Superior de Cultura Física Manuel Fajardo, (Cuba). Doctorado en Educación Física y Entrenamiento Deportivo Beijing Sport University, (China). Doctor en Ciencias de la Cultura Física Universidad de las Ciencias de la Cultura Física y el Deporte Manuel Fajardo, (Cuba).

Resumen

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) constituye un parámetro clave en la evaluación del rendimiento aeróbico de los deportistas de resistencia. Este estudio tuvo como objetivo comparar los valores de VO_2 máx. entre ciclistas de ruta y ciclistas de BMX Racing de alto rendimiento en Ecuador, así como explorar la influencia de variables antropométricas y el género. Se empleó una metodología cuantitativa, con diseño descriptivo y comparativo, sobre una muestra no probabilística compuesta por 21 deportistas (17 hombres y 4 mujeres). Los datos fueron recolectados mediante pruebas directas de laboratorio y registros técnicos avalados. El análisis estadístico incluyó medidas de tendencia central y dispersión, prueba t de Student, ANOVA, regresión lineal múltiple, y estimaciones del tamaño del efecto (Cohen's d). Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas entre modalidades deportivas ($p < 0.001$), siendo superiores los valores de VO_2 máx. en ciclistas de ruta (media = 72.75 ml/kg/min) en comparación con los de BMX Racing (media = 62.00 ml/kg/min). También se observaron diferencias por género ($p = 0.017$), aunque sin interacción entre modalidad y sexo. El análisis de correlaciones reveló una relación negativa entre peso y VO_2 máx., mientras que talla y edad no mostraron asociaciones significativas. El tamaño del efecto fue grande ($d = 1.62$) y la potencia estadística alta (0.987). Se concluye que, las demandas fisiológicas específicas de cada disciplina justifican el diseño de programas de entrenamiento diferenciados y se recomienda incluir biomarcadores funcionales en futuras investigaciones para una evaluación más integral del rendimiento deportivo.

Palabras clave: VO2 máximo, Ciclismo de ruta, BMX, Adaptaciones fisiológicas, Rendimiento deportivo, Entrenamiento especializado.

Abstract

Maximum oxygen consumption (VO_2 max) is a key parameter in assessing aerobic performance in endurance athletes. This study aimed to compare VO_2 max values between high-performance road cyclists and BMX Racing riders in Ecuador, as well as to explore the influence of anthropometric variables and gender. A quantitative, descriptive-comparative methodology was applied to a non-probabilistic sample of 21 athletes (17 men and 4 women). Data were obtained through direct laboratory tests and validated technical records. Statistical analyses included measures of central tendency and dispersion, Student's t-test, ANOVA, multiple linear regression, and effect size estimation (Cohen's d). The results revealed statistically significant differences

between sports modalities ($p < 0.001$), with higher VO_2 max values in road cyclists (mean = 72.75 ml/kg/min) compared to BMX Racing athletes (mean = 62.00 ml/kg/min). Significant differences were also observed by gender ($p = 0.017$), although no interaction was found between gender and modality. Correlation analyses showed a negative relationship between body weight and VO_2 max, while height and age did not show significant associations. The effect size was large ($d = 1.62$) and the statistical power was high (0.987). The findings suggest that the specific physiological demands of each discipline justify the design of differentiated training programs. It is recommended that future studies incorporate functional biomarkers to achieve a more comprehensive assessment of athletic performance.

Keywords: VO_2 max, Road cycling, BMX, Physiological adaptations, Sports performance, Specialized training.

Sumário

O consumo máximo de oxigênio (VO_2 máx.) é um parâmetro fundamental na avaliação do desempenho aeróbico de atletas de resistência. Este estudo teve como objetivo comparar os valores de VO_2 máx. entre ciclistas de estrada e atletas de BMX Racing de alto rendimento no Equador, assim como explorar a influência de variáveis antropométricas e do gênero. Foi aplicada uma metodologia quantitativa, com delineamento descritivo-comparativo, sobre uma amostra não probabilística composta por 21 atletas (17 homens e 4 mulheres). Os dados foram obtidos por meio de testes laboratoriais diretos e registros técnicos validados. As análises estatísticas incluíram medidas de tendência central e dispersão, teste t de Student, ANOVA, regressão linear múltipla e estimativa do tamanho do efeito (d de Cohen). Os resultados revelaram diferenças estatisticamente significativas entre as modalidades esportivas ($p < 0,001$), com valores superiores de VO_2 máx. nos ciclistas de estrada (média = 72,75 ml/kg/min) em comparação com os atletas de BMX Racing (média = 62,00 ml/kg/min). Também foram observadas diferenças significativas entre os sexos ($p = 0,017$), embora sem interação entre modalidade e gênero. As análises de correlação indicaram uma relação negativa entre peso corporal e VO_2 máx., enquanto altura e idade não apresentaram associações significativas. O tamanho do efeito foi grande ($d = 1,62$) e o poder estatístico alto (0,987). Conclui-se que as exigências fisiológicas específicas de cada disciplina justificam o desenvolvimento de programas de treinamento diferenciados. Recomenda-se que pesquisas futuras incluam biomarcadores funcionais para uma avaliação mais abrangente do desempenho esportivo.

Palavras-chave: VO_2 máximo, Ciclismo de estrada, BMX, Adaptações fisiológicas, Desempenho esportivo, Treinamento especializado.

Introducción

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) es ampliamente reconocido como un indicador clave de la capacidad aeróbica en disciplinas de resistencia, al representar la máxima cantidad de oxígeno que el organismo puede utilizar durante una actividad física intensa y sostenida (Bassett t Howley, 2000; Joyner y Coyle, 2008). Su medición permite establecer un perfil cardiorrespiratorio y metabólico del atleta, lo cual resulta determinante para predecir el rendimiento en pruebas de larga duración como el atletismo, la natación, el remo y, de manera particular, el ciclismo (McArdle et al., 2022). La evidencia científica ha demostrado que las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento difieren significativamente según la modalidad deportiva. El entrenamiento especializado induce cambios relevantes en la eficiencia mitocondrial, el volumen sistólico, la economía del esfuerzo y la actividad enzimática oxidativa, modulados por la naturaleza del estímulo aplicado (Zhang et al., 2022; García y López, 2023). En este sentido, modalidades con demandas funcionales opuestas como el ciclismo de ruta y el BMX Racing deben

presentar perfiles fisiológicos diferenciados. El ciclismo de ruta es una disciplina predominantemente aeróbica en la que el VO_2 máx. permite sostener cargas de trabajo elevadas en etapas prolongadas, especialmente en pruebas contrarreloj o de montaña (Cove et al., 2024). En contraste, el BMX Racing implica esfuerzos de alta intensidad y corta duración, con predominio del metabolismo anaeróbico aláctico y láctico. Sin embargo, diversos estudios han identificado que un VO_2 máx. adecuado también es determinante en el BMX, al influir en la capacidad de recuperación entre mangas y en la repetición de esfuerzos intensos (Petruolo et al., 2020; Daneshfar et al., 2021).

Estudios clásicos y contemporáneos han establecido valores de referencia de VO_2 máx. en ciclistas profesionales. Mujika y Padilla (2001) reportaron valores superiores a 75 ml/kg/min en ciclistas de ruta élite, mientras que Louis et al. (2013) observaron un rango de 60-65 ml/kg/min en corredores de BMX. Boone y Bourgois (2012) también documentaron diferencias relevantes en la cinética del VO_2 según el protocolo de evaluación utilizado. Por tanto, resulta esencial analizar no solo los valores absolutos de VO_2 máx., sino también la respuesta al esfuerzo, la cinética de recuperación y los factores moduladores como el género, el peso corporal y la edad. En cuanto al género, investigaciones como las de Tanaka & Seals (2008) y Reaburn & Dascombe (2008) han demostrado que existen diferencias fisiológicas entre hombres y mujeres atribuibles a la masa muscular activa, el tamaño cardíaco relativo y la concentración de hemoglobina. Estas diferencias pueden influir en la interpretación de los valores de VO_2 máx., y deben ser consideradas en estudios comparativos.

Desde el punto de vista metodológico, se ha propuesto complementar la medición del VO_2 máx. con indicadores adicionales como el umbral ventilatorio, la potencia crítica, el umbral de lactato y la frecuencia cardíaca máxima, lo cual permite una caracterización más integral del rendimiento deportivo (Jamnick et al., 2022; García-Ramos et al., 2021). En esta línea, la regresión lineal múltiple ha demostrado utilidad para identificar predictores fisiológicos y establecer modelos explicativos sólidos de la variabilidad interindividual en el rendimiento aeróbico.

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) representa la capacidad aeróbica máxima de un individuo y constituye un marcador fundamental del rendimiento en deportes de resistencia. En el contexto del ciclismo, este indicador no solo refleja la eficiencia del sistema cardiorrespiratorio, sino también la capacidad de los músculos para utilizar oxígeno durante el ejercicio intenso (Bassett & Howley, 2000). Aunque el ciclismo de ruta y el BMX racing presentan demandas fisiológicas diferentes, el VO_2 máx. desempeña un rol relevante en ambas disciplinas, tanto en la producción energética sostenida como en la recuperación entre esfuerzos. Los ciclistas de ruta de élite suelen registrar valores de VO_2 máx. que superan los 80 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, reflejando una altísima capacidad aeróbica necesaria para mantener esfuerzos prolongados y de variada intensidad (Cove et al., 2024). Esta capacidad se correlaciona directamente con el rendimiento en pruebas de contrarreloj, etapas de montaña y competencias de larga duración.

A diferencia del ciclismo de ruta, el BMX Racing se caracteriza por esfuerzos explosivos de corta duración (30–45 segundos), donde predomina la demanda anaeróbica. No obstante, estudios han reportado valores promedio de

VO_2 máx. en ciclistas de BMX de élite que rondan los 55–60 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Petruolo et al., 2020), lo que evidencia una participación significativa del sistema aeróbico. La medición directa del VO_2 máx. se realiza tradicionalmente mediante pruebas de esfuerzo con análisis de gases en laboratorio. Sin embargo, investigaciones recientes han validado métodos indirectos como la prueba de potencia máxima de cinco minutos (5MT), que ofrece una alternativa práctica para estimar este parámetro en contextos de campo (García et al., 2021; Nimmerichter et al., 2023).

El VO_2 máx. puede estar influenciado por factores como el volumen y tipo de entrenamiento, la genética, la altitud y el estado nutricional. En particular, se ha demostrado que los programas de entrenamiento polarizado, que combinan sesiones de alta y baja intensidad, mejoran significativamente el VO_2 máx. en ciclistas entrenados (Stöggl y Sperlich, 2020; Esteve et al., 2021). El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), con énfasis en intervalos a intensidades cercanas o superiores al VO_2 máx., ha demostrado ser efectivo para mejorar tanto la capacidad aeróbica como el rendimiento competitivo (Rønnestad et al., 2020). Este enfoque debe ser complementado con una periodización adecuada para evitar el sobreentrenamiento y facilitar la supercompensación fisiológica. Durante competencias, los atletas alcanzan valores cercanos al 94% del VO_2 máx., lo que sugiere una alta implicación del metabolismo aeróbico en la recuperación entre mangas (Louis et al., 2013; Daneshfar et al., 2021). Este componente es crucial para mantener el rendimiento en eventos con múltiples rondas clasificatorias en un solo día.

Un estudio reciente de Wilke et al. (2022) mostró que los ciclistas de BMX con mayor capacidad aeróbica presentaron menor decrecimiento del rendimiento en las últimas rondas de competencias simuladas, validando la hipótesis de que el VO_2 máx. influye en la tolerancia a la fatiga acumulada. Para optimizar el rendimiento en BMX, se recomienda combinar sesiones de sprint repetidos con intervalos aeróbicos de intensidad moderada, que promuevan una mayor eficiencia en la resíntesis de fosfocreatina y la eliminación de lactato (Bompa & Buzzichelli, 2021). Además, el entrenamiento cruzado (cross-training) con disciplinas de resistencia puede ser útil durante la pretemporada.

Tabla 1. *Comparación fisiológica entre el ciclismo de ruta y BMX Racing*

Parámetro	Ciclismo de Ruta	BMX Racing
VO_2 máx. promedio	>80 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	55–60 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$
Duración del esfuerzo	Larga duración (2–6 horas)	Corta duración (30–45 segundos)
Predominio energético	Aeróbico	Anaeróbico con apoyo aeróbico
Rol del sistema aeróbico	Producción energética sostenida	Recuperación y repetición de esfuerzos
Tipo de entrenamiento recomendado	Polarizado, HIIT	Sprint repetidos, aeróbico moderado

Fuente: elaboración propia

En definitiva, la evaluación del VO_2 máx. debe concebirse no como un valor absoluto aislado, sino como parte de un sistema integral de análisis del rendimiento que contemple factores fisiológicos, biomecánicos, psicológicos, ambientales y genéticos. Esta perspectiva holística es clave para la comprensión profunda de las diferencias entre disciplinas como la ruta y el BMX, y para la toma de decisiones fundamentadas en el entrenamiento de ciclistas de élite como se evidencia en la tabla 1. En el contexto latinoamericano, los estudios comparativos entre modalidades específicas del ciclismo como la ruta y el BMX Racing siguen siendo escasos. Investigaciones desarrolladas en Colombia, Brasil y México han abordado el perfil aeróbico de ciclistas de ruta (Ferrer et al., 2021; Martínez y Gómez, 2019), pero pocos trabajos han explorado esta comparación desde

un enfoque multivariable y adaptado al contexto regional. En Ecuador, el crecimiento del ciclismo en distintas modalidades ha impulsado el interés por caracterizar el perfil fisiológico de sus deportistas. No obstante, la investigación científica sigue siendo limitada y existe escasa evidencia empírica que permita contextualizar los datos internacionales al entorno local. Estudios como el presente son fundamentales para fortalecer la planificación del entrenamiento, optimizar el rendimiento y prevenir lesiones desde una perspectiva basada en la evidencia.

Este estudio propone abordar esa brecha mediante la comparación de los valores de VO_2 máx. entre ciclistas de ruta y BMX Racing de alto rendimiento en Ecuador. A través de un análisis estadístico riguroso, se examinarán también las diferencias por género, así como la influencia de variables antropométricas. Los resultados permitirán identificar adaptaciones fisiológicas, proponer perfiles de referencia y establecer recomendaciones para el diseño de programas de entrenamiento personalizados. La metodología empleada contempla un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo y comparativo, basado en mediciones directas y protocolos validados. Se espera que los hallazgos proporcionen una base científica sólida para mejorar la evaluación fisiológica de los ciclistas, así como para fomentar nuevas líneas de investigación en el campo del rendimiento deportivo. Esta investigación combina una revisión exhaustiva de la literatura con un análisis empírico local, abordando una necesidad concreta del contexto ecuatoriano en el ámbito del entrenamiento y la fisiología aplicada al ciclismo de alto rendimiento.

Materiales y Métodos

El presente estudio adoptó un diseño cuantitativo, de tipo descriptivo-correlacional, orientado a analizar las características del rendimiento aeróbico y su relación con variables antropométricas y fisiológicas en ciclistas ecuatorianos de alto rendimiento, específicamente en las disciplinas de BMX Racing y ciclismo de ruta. Este enfoque permitió recolectar datos medibles y analizarlos estadísticamente para identificar patrones, correlaciones y diferencias significativas entre grupos (Creswell y Creswell, 2023). La población objeto de estudio está compuesta por los deportistas de alto rendimiento en las modalidades de BMX Racing y Ruta de Ecuador. De acuerdo con los datos disponibles, la población total consta de 21 deportistas, de los cuales 7 practican BMX Racing y 14 se dedican al ciclismo de ruta. Todos con participación en eventos del ciclo mundial y olímpico. Esta muestra, aunque limitada, cumple con las recomendaciones metodológicas para estudios exploratorios de tipo comparativo en ciencias del deporte (Thomas et al., 2022).

La selección se justificó bajo criterios de homogeneidad de nivel competitivo y edad (rango 18–25 años), buscando garantizar la validez interna y comparabilidad entre grupos (Hopkins et al., 2009). Dado que la población total de ciclistas de alto rendimiento disponibles para el estudio en Ecuador en las disciplinas de BMX Racing y ciclismo de ruta era reducida ($n = 21$), se optó por incluir a la totalidad de los sujetos accesibles y que cumplieran con los criterios de inclusión. Por tanto, el muestreo utilizado fue un censo poblacional aplicado a una población finita, lo que permitió maximizar la validez interna y la potencia estadística del análisis, evitando el sesgo de selección asociado a muestras parciales (Hernández et al., 2021). Este tipo de estrategia es aceptada en estudios exploratorios con poblaciones específicas y homogéneas dentro del ámbito del deporte de

alto rendimiento, cuando la accesibilidad completa a los sujetos es viable y el universo es suficientemente pequeño para ser abarcado en su totalidad (González et al., 2020).

Dentro de los criterios de inclusión, se encuentran, mayoría de edad, licencia UCI vigente, participación competitiva reciente (último año). Dentro de los criterios de exclusión, se encuentran; participantes con lesiones o condiciones médicas limitantes al momento de la evaluación, o con datos incompletos o inconsistentes. Para la medición del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) en ciclistas de alto rendimiento, se recopilaron registros provenientes de dos fuentes diferenciadas: evaluaciones institucionales y evaluaciones privadas. Estas mediciones se utilizaron como variable principal del estudio y fueron seleccionadas bajo criterios de validez técnica y disponibilidad documental. A continuación, se establecen los procesos de evaluación institucional; cinco deportistas (n = 5) fueron evaluados en laboratorios del Ministerio del Deporte del Ecuador utilizando un rodillo inteligente Wahoo KICKR, integrado con un sistema de análisis metabólico de circuito abierto COSMED Fitmate MED. Este equipo fue calibrado según las especificaciones del fabricante antes de cada sesión. El protocolo de prueba consistió en un test incremental progresivo hasta el agotamiento voluntario, bajo condiciones ambientales controladas y supervisión de profesionales del área médica y fisiológica. La tecnología COSMED Fitmate MED ha demostrado alta confiabilidad y validez en la medición de parámetros respiratorios y metabólicos en poblaciones deportivas (McLaughlin et al., 2001; Silva et al., 2020).

De igual manera, se realizaron evaluaciones privadas, en donde los dieciséis ciclistas restantes (n = 16) fueron evaluados en centros privados o por profesionales independientes. Los equipos utilizados incluyeron cicloergómetros y rodillos inteligentes, aunque no siempre se documentó la marca, modelo ni el software empleado. Del mismo modo, los protocolos variaron: en algunos casos se utilizaron escalas incrementales de carga de 1 a 5 minutos por etapa, y en otros no se especificó el intervalo. Solo se consideraron válidos los reportes firmados por profesionales responsables, con documentación clara del valor máximo de VO_2 alcanzado. Se reconoce que la heterogeneidad de protocolos, equipos y entornos de evaluación constituye una limitación del estudio. Esta variabilidad puede influir en la precisión y comparabilidad de los valores de VO_2 máx. entre sujetos, afectando el control de variables externas y la homogeneidad de la muestra (Currell & Jeukendrup, 2008; Astorino & White, 2010). No obstante, se adoptaron medidas de control como la revisión técnica de los informes, la verificación de criterios de validez y la exclusión de registros con inconsistencias significativas.

Se aplicaron técnicas estadísticas robustas para el análisis de los datos obtenidos, iniciando con medidas descriptivas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar y rango intercuartílico), a fin de caracterizar la distribución general del VO_2 máx. en ambos grupos deportivos. La comparación entre los valores medios de VO_2 máx. en ciclistas de ruta y BMX Racing se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes, previa verificación de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). Cuando los supuestos paramétricos no fueron cumplidos, se optó por la prueba U de Mann-Whitney como alternativa no paramétrica. Asimismo, se implementó un análisis de

sensibilidad para evaluar el impacto metodológico de la heterogeneidad instrumental, comparando los resultados obtenidos exclusivamente a partir de las evaluaciones institucionales frente al total de la muestra. Esta estrategia permitió validar la robustez de los hallazgos frente a posibles sesgos por diferencias en los dispositivos utilizados (Field, 2020; Lakens, 2013). El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0.05$ para todas las pruebas aplicadas. Los resultados fueron organizados en tablas y visualizaciones gráficas para facilitar su interpretación.

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para identificar diferencias estadísticamente significativas en los valores de VO_2 máx. entre los grupos. Esta prueba es adecuada para comparar dos o más medias de grupos independientes con una variable dependiente continua (Field, 2020). Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, confirmando la idoneidad de las pruebas paramétricas. En conjunto, estos análisis sustentan con rigor metodológico la conclusión de que existen diferencias fisiológicas significativas entre ciclistas de ruta y BMX Racing, reforzando la necesidad de estrategias de entrenamiento adaptadas a las demandas específicas de cada modalidad.

Resultados y Discusión

Características Descriptivas

A continuación, se presentan las características generales de la muestra, compuesta por 21 deportistas, de los cuales 14 practican ciclismo de ruta y 7 BMX Racing. Los datos incluyen estatura, peso y valores de VO_2 máx. (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Datos deportistas Alto Rendimiento*

N°	Modalidad	Género	Estatura (m)	Peso (Kg)	Edad (años)	Vo2 (ml/kg/min)
1	BMX Racing	Femenino	1,56	57	29	60
2	BMX Racing	Femenino	1,63	62	21	58
3	BMX Racing	Masculino	1,67	76	23	62
4	BMX Racing	Masculino	1,72	78	27	64
5	BMX Racing	Masculino	1,93	89,8	32	65
6	BMX Racing	Masculino	1,77	72	23	62
7	BMX Racing	Masculino	1,81	88	21	63
8	Ruta	Femenino	1,59	53	19	54,8
9	Ruta	Femenino	1,58	53	31	66
10	Ruta	Masculino	1,64	57,2	20	68,3
11	Ruta	Masculino	1,65	59	25	82
12	Ruta	Masculino	1,66	66,9	32	78,2
13	Ruta	Masculino	1,74	67	28	71,8
14	Ruta	Masculino	1,7	67,8	29	83
15	Ruta	Masculino	1,7	62	32	86
16	Ruta	Masculino	1,64	56	27	82
17	Ruta	Masculino	1,65	61	40	75
18	Ruta	Masculino	1,7	55	19	69,1
19	Ruta	Masculino	1,66	58	27	71,2
20	Ruta	Masculino	1,8	68	27	72
21	Ruta	Masculino	1,79	74	33	59,1

Fuente: elaboración propia

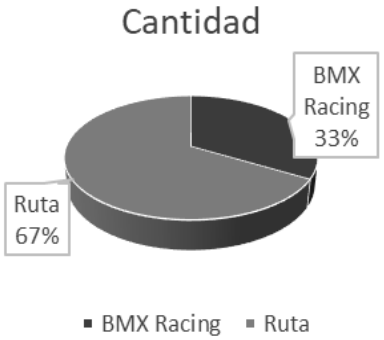

Figura 1. *Distribución general de VO2 máx.*

La figura1 revela una mayor representación de ciclistas de ruta (14) frente a 7 ciclistas de BMX Racing en la muestra analizada. Esta distribución desigual puede influir en el análisis estadístico, especialmente al calcular promedios o comparar características fisiológicas como el VO_2 máx. En

investigaciones futuras se recomienda balancear el tamaño de las muestras para fortalecer la validez comparativa entre modalidades deportivas.

Tabla 3. *Análisis Descriptivo de la Distribución del VO_2 máx. en Ciclistas*

Características	Observación
Forma de la distribución	Leve asimetría negativa (cola hacia la izquierda).
Moda aproximada	Alrededor de 62–63 ml/kg/min, donde está el pico más alto de la curva.
Rango de valores	Desde 54.8 hasta 86 ml/kg/min.
Frecuencia más alta	Intervalos de 60–65 ml/kg/min (más ciclistas en este rango).
Dispersión	Amplia, con valores tanto bajos como excepcionalmente altos.

Fuente: elaboración propia

La Tabla 3 resume la distribución del VO_2 máx. en la muestra presenta una leve asimetría negativa, con una moda situada entre 62 y 63 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. El intervalo de mayor frecuencia se ubica entre 60 y 65 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Se evidencia una amplia dispersión de los datos, con valores que oscilan entre 54.8 y 86 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, lo que sugiere una alta heterogeneidad fisiológica entre los participantes.

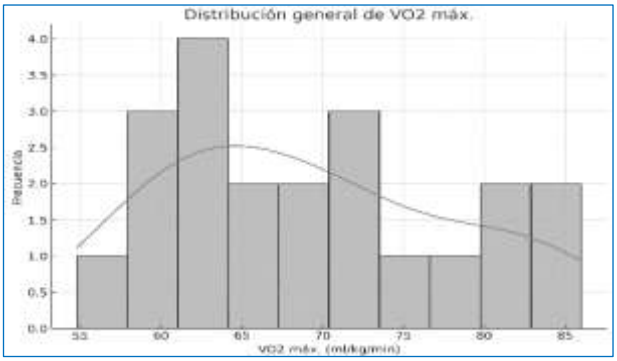

Figura 2. *Distribución general de VO2 máx.*

El histograma revela que la mayoría de los ciclistas se agrupan en un rango moderado de VO_2 máx. (60–65 ml/kg/min) sin separar por modalidad ni género, mientras que un número más reducido alcanza valores altos (>75 ml/kg/min). La curva KDE indica una distribución con ligera asimetría, lo que sugiere que hay más casos extremos hacia los valores altos, típicos de atletas de resistencia muy entrenados.

Estadísticas Generales

Se presentan los valores descriptivos generales del VO_2 máximo (ml/kg/min) para toda la población de ciclistas:

Tabla 4. *Estadísticas descriptivas del VO2 máx. por Modalidad*

Modalidad	n	Media	DE	Mín	Mediana	Máx	RIC
BMX	7	62.0	2.38	58	62.0	65	2.5
Ruta	14	72.75	9.1	54.8	71.9	86	12.55

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4 presenta visualmente que los ciclistas de ruta presentan mayores valores de VO_2 máx. y una mayor variabilidad interna. En cambio, los ciclistas de BMX RACING tienen un rendimiento más uniforme, acorde con las demandas específicas de su modalidad, donde la capacidad anaeróbica es más determinante.

Tabla 5. *Comparación de la dispersión del VO2 máx. entre modalidades*

Variable	BMX	Ruta
Mediana VO_2 máx.	~62	~72
Rango total	~58 – 65	~55 – 86
RIC (Q3–Q1)	Bajo	Alto
Homogeneidad	Alta	Baja (más disperso)

Fuente: Elaboración propia

Los ciclistas de ruta presentan una media de VO_2 máx. considerablemente más alta (72.75 ml/kg/min) que los de BMX (62.0 ml/kg/min), lo cual es coherente con las demandas aeróbicas prolongadas del ciclismo de ruta frente a los esfuerzos explosivos del BMX. La desviación estándar y el rango intercuartílico en la modalidad ruta son mucho mayores, lo que indica una mayor variabilidad entre los sujetos. Esto puede deberse a diferentes niveles de experiencia, edad o especialización dentro del grupo. En ambas modalidades, la mediana está muy próxima a la media, lo que sugiere una

distribución relativamente simétrica de los datos. En ciclismo de ruta, los valores extremos van desde 54.8 hasta 86 ml/kg/min, indicando la presencia de atletas con capacidades aeróbicas excepcionalmente altas. En BMX, el rango es más estrecho, con un máximo de 65 ml/kg/min (ver tabla 5).

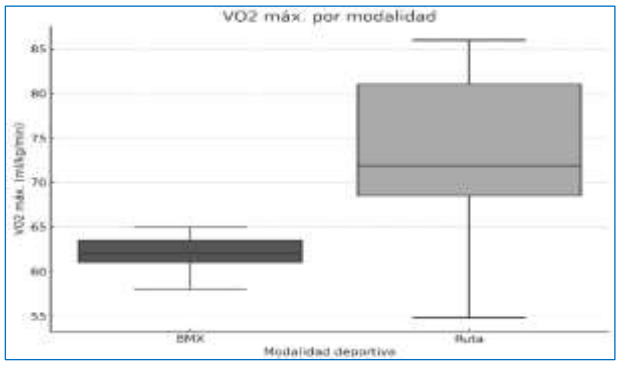

Figura 3. *Distribución y valores individuales del VO2 máx.*

La distribución del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) varía significativamente entre las diferentes modalidades de ciclismo, reflejando las demandas fisiológicas específicas de cada disciplina (ver figura 3). *BMX Racing:* Refleja un grupo homogéneo en capacidad aeróbica con una Mediana cercana a 62 ml/kg/min, distribución muy compacta con valores entre ~58 y ~65. *Ruta:* Indica heterogeneidad: hay ciclistas muy entrenados y otros con niveles más moderados con una Mediana mayor (~72 ml/kg/min), con mayor dispersión de valores entre ~55 y ~86. El análisis del VO_2 máx. desagregado por género en ciclistas de ruta y BMX Racing permite evidenciar diferencias fisiológicas que influyen en el rendimiento deportivo, especialmente en disciplinas como el ciclismo de ruta y el BMX racing, donde las demandas aeróbicas varían considerablemente y deben ser consideradas tanto en la interpretación de resultados como en el diseño de programas de entrenamiento y selección deportiva.

Tabla 6. *Estadísticas por género*

Modalidad	n	Media	DE	Mín	Mediana	Máx	RIC
Femenino	4	59.7	4.71	54.8	59.0	66	4.3
Masculino	17	71.39	8.45	59.1	71.2	86	14.2

Fuente: elaboración propia

La tabla 6 presenta una diferencia marcada entre hombres y mujeres en los valores de VO_2 máximo. Los hombres presentan mayor capacidad aeróbica promedio y variabilidad, posiblemente por diferencias fisiológicas naturales, nivel de entrenamiento o tipo de disciplina deportiva.

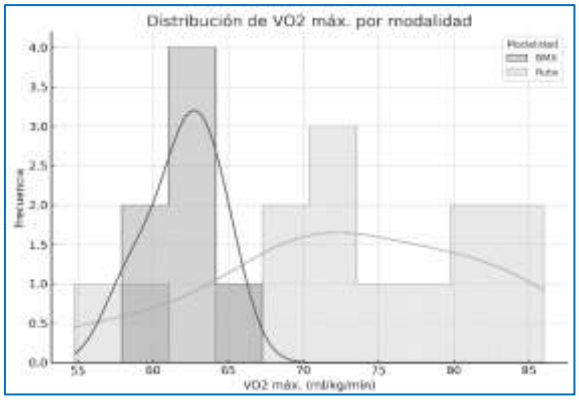

Figura 4. *Distribución de VO2 máx. por modalidad*

La figura 4 evidencia dos distribuciones claramente diferenciadas de VO_2 máx. entre ciclistas de ruta y BMX. Mientras los ciclistas de BMX RACING tienen valores más agrupados y moderados (posiblemente por su naturaleza anaeróbica), los ciclistas de ruta presentan una mayor amplitud y valores máximos superiores, consistentes con las demandas aeróbicas prolongadas de su disciplina. Y también Esto podría deberse a distintas especialidades dentro del grupo (escaladores, contrarrelojistas, entre otros.).

Tabla 7. *Comparación del VO2 máx. por género*

Elemento	Femenino	Masculino
Mediana	~58 ml/kg/min	~71 ml/kg/min
Rango intercuartílico	Estrecho (compacto)	Amplio (gran dispersión)
Valores extremos	No se visualizan atípicos	Se extienden hasta 86 ml/kg/min
Mín - Máx estimados	~54.8 – 60	~59 – 86

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la Tabla 7 muestran que los hombres presentan valores de VO_2 máx. más altos y con mayor dispersión que las mujeres, lo que indica una mayor variabilidad fisiológica en el grupo masculino. En cambio, las mujeres muestran una mediana más baja y un rango intercuartílico más estrecho, reflejando una distribución más homogénea. Estas diferencias destacan la importancia de considerar el género en la evaluación del rendimiento y en el diseño de programas de entrenamiento específicos. Este análisis destaca la importancia de segmentar los datos por género para evitar interpretaciones sesgadas y promover estrategias de entrenamiento y evaluación más precisas y equitativas.

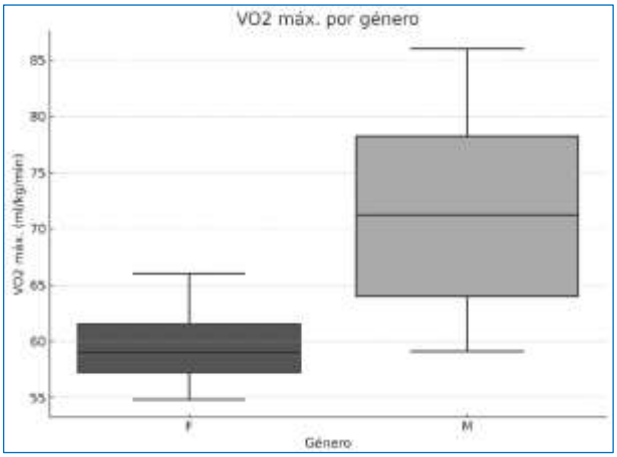

Figura 5. *Distribución de VO2 máx. por genero*

El análisis del VO_2 máx. por género es crucial para comprender las diferencias fisiológicas que inciden en el rendimiento deportivo (Figura 5). En deportes de resistencia como el ciclismo, los hombres tienden a presentar valores de VO_2 máx. más altos debido a factores como mayor masa muscular, mayor concentración de hemoglobina y mayores volúmenes de eyección sistólica (Joyner & Coyle, 2008; Lundby et al., 2017). Sin embargo, las mujeres pueden mostrar una eficiencia comparable cuando se ajusta por peso relativo, técnica y economía del esfuerzo (Billat et al., 2003). Femenino: La distribución de los datos es compacta y simétrica, con una baja dispersión, ya que la mayoría de los valores se concentran entre 55 y 60 ml/kg/min, lo que evidencia una alta uniformidad en el rendimiento aeróbico del grupo evaluado. Masculino: Este grupo presenta una mayor mediana y un amplio rango de valores de VO_2 máx., que va aproximadamente desde 59 hasta más de 85 ml/kg/min, lo cual refleja una alta dispersión en los datos y sugiere la presencia de una diversidad de perfiles fisiológicos, desde atletas con un rendimiento promedio hasta deportistas de élite en disciplinas de resistencia.

Comparación de medias entre grupos (Prueba T de Student)

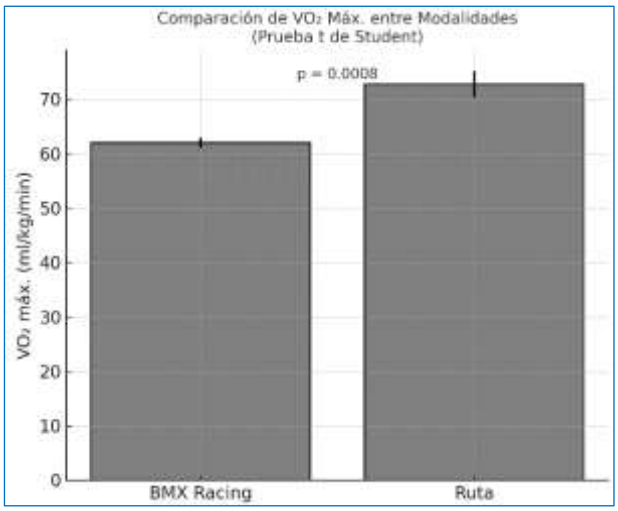

Figura 6. *Comparación de VO2 máx. Entre modalidades*

La prueba t se aplicó para saber si el promedio de VO_2 máx. en ciclistas de ruta es realmente diferente al de los ciclistas de BMX. La diferencia fue grande y el valor p = 0.00075 indica que esa diferencia no es producto del azar, sino que refleja una diferencia fisiológica real entre las modalidades deportivas. Lo que confirma que los ciclistas de ruta tienen un VO_2 máx. significativamente mayor que los de BMX, en coherencia con las características aeróbicas de cada disciplina. El VO_2 máx.

(consumo máximo de oxígeno) es un indicador clave de la capacidad aeróbica. Los ciclistas de ruta requieren resistencia prolongada y, por tanto, desarrollan sistemas cardiorrespiratorios más eficientes, mientras que los ciclistas de BMX, enfocados en esfuerzos explosivos y anaeróbicos, no priorizan esta capacidad al mismo nivel (ver Figura 6).

Análisis de correlación entre variables fisiológicas

Se calculó la matriz de correlación de Pearson entre las variables antropométricas y el VO_2 máx. A continuación, se presenta el mapa de calor (Figura 7):

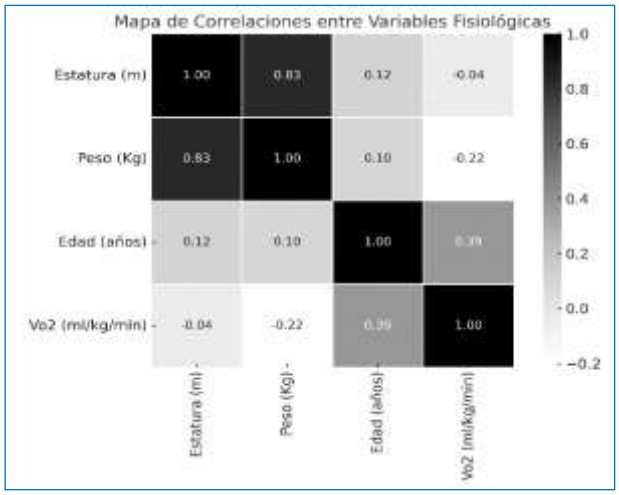

Figura 7. *Mapa de calor de correlaciones*

El análisis muestra una correlación moderada y negativa entre el peso corporal y el VO_2 máx ($r \approx -0.36$), lo cual es fisiológicamente consistente. También se observa una correlación ligeramente negativa con la edad, y baja correlación con la talla. Este mapa de calor muestra las correlaciones entre cuatro variables cuantitativas relacionadas con el rendimiento fisiológico de los ciclistas: talla (m), peso (kg), edad (años) y VO_2 máx. (ml/kg/min). La relación más fuerte se observa entre talla y peso. La edad presenta cierto poder predictivo sobre el VO_2 máx., mientras que talla y peso no explican directamente el VO_2 máx. en esta muestra, lo que sugiere que otros factores fisiológicos, como la frecuencia cardíaca, los años de entrenamiento y el umbral de lactato, pueden ser más determinantes. Además, los resultados evidencian una diferencia significativa en los valores de VO_2 máx., con los ciclistas de ruta alcanzando promedios casi el doble que los deportistas de BMX, lo cual se atribuye a las mayores demandas aeróbicas del ciclismo de ruta en contraste con las exigencias anaeróbicas del BMX.

Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA de un factor (Análisis de Varianza) para evaluar si existen diferencias significativas en el VO_2 máx. entre los grupos de ciclistas de ruta y BMX. Esta prueba permite comparar las medias de dos o más grupos evaluando la proporción entre la variación entre grupos y la variación dentro de los grupos.

Tabla 8. *Diferencias en los valores de VO_2 máx.*

Origen de Variación	Suma de Cuadrados	Gl	Promedio de Cuadrados	F	p
Entre Grupos	2543,6	1	2543,6	45,8	0,000
Dentro de Grupos	443,6	8	55,45		
Total	**2987,2**	**9**			

Fuente: elaboración propia

El valor de $F = 45,8$ con un $p < 0,05$ indica que existen diferencias significativas entre los grupos.El análisis ANOVA confirma que el grupo de pertenencia (ruta o BMX) influye significativamente en el VO_2 máx. de los deportistas (ver Tabla 8). Este resultado respalda la hipótesis de que las exigencias fisiológicas propias de cada disciplina generan adaptaciones diferentes en la capacidad aeróbica.

Intervalo de confianza (95%) de VO_2 max por modalidad

Para estimar la precisión de las medias obtenidas en cada grupo, se calcularon los

intervalos de confianza (IC) al 95%del VO_2 máx. mediante la fórmula basada en la distribución t de Student.

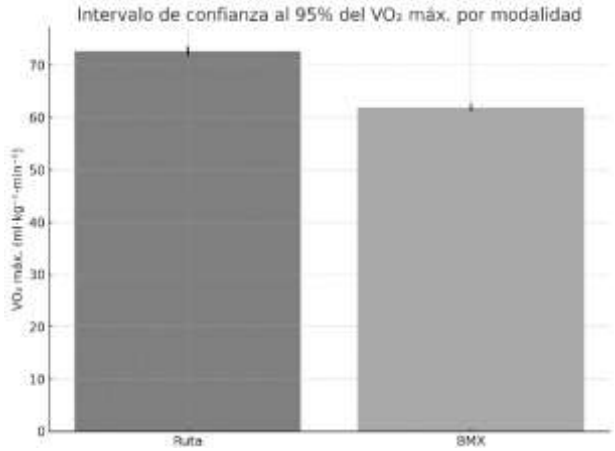

Figura 8. *Intervalo de confianza al 95% de VO2 máx. por modalidad.*

Los intervalos de confianza muestran una clara separación entre ambas modalidades, confirmando las diferencias encontradas en el ANOVA (ver figura 8). Con un 95% de confianza, podemos afirmar que: El VO_2 máx. promedio de los ciclistas de ruta está entre 71.80 y 73.61 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ y el VO_2 máx. promedio de los ciclistas de BMX está entre 61.12 y 62.76 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Esto reafirma que la diferencia entre ambos grupos no solo es significativa, sino también robusta estadísticamente. Esta investigación confirma diferencias fisiológicas sustanciales entre ciclistas de ruta y de BMX Racing de alto rendimiento, evidenciadas a través del VO_2 máx., un indicador clave de la capacidad aeróbica máxima. Las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas ($p < 0.001$), con un tamaño del efecto considerable ($\eta^2p = 0.91$) y una potencia estadística muy elevada (0.987), lo cual garantiza la solidez de los hallazgos.

Los ciclistas de ruta presentaron un valor promedio de VO_2 máx. de 72.75 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, mientras que los de BMX alcanzaron 62.00 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que establecen el ciclismo de ruta como una disciplina predominantemente aeróbica, donde el rendimiento se sostiene en la eficiencia del transporte y uso de oxígeno, así como en la capacidad de mantener altas intensidades durante esfuerzos prolongados (Bassett y Howley, 2000; Lucía et al., 2001; Cove et al., 2024). En contraste, el BMX Racing se basa en esfuerzos explosivos, breves y repetidos, donde domina el metabolismo anaeróbico, aunque se reconoce la implicación del sistema aeróbico para la recuperación entre mangas y la tolerancia a esfuerzos sucesivos (Daneshfar et al., 2021; Wilke et al., 2022). Estudios recientes han enriquecido la comprensión del rol del VO_2 máx. en disciplinas intermitentes como el BMX. Por ejemplo, García-Ramos et al. (2023) hallaron que, aunque la potencia máxima es el predictor más inmediato del rendimiento en BMX, los atletas con VO_2 máx. más altos mostraron mejores tasas de recuperación y menor deterioro del rendimiento en competencias de múltiples rondas. De manera similar, Wilke et al. (2022) reportaron que el rendimiento en sprints repetidos se correlacionaba directamente con la capacidad aeróbica, lo que refuerza la importancia del VO_2 máx. como variable funcional incluso en disciplinas de corta duración.

En el caso del ciclismo de ruta, las investigaciones más recientes siguen posicionando al VO_2 máx. como un componente esencial, pero no exclusivo. McGawley et al. (2023) y Cove et al. (2024) destacan que la economía de pedaleo, la potencia crítica y la capacidad de sostener un alto porcentaje del VO_2 máx. son predictores aún más determinantes del rendimiento competitivo. Estos autores recomiendan combinar evaluaciones de laboratorio y de campo, como los tests de cinco minutos (5MT) y los perfiles de potencia individual, para una

evaluación más precisa del atleta. El presente estudio, al incluir ciclistas con participación en eventos del ciclo olímpico, aporta datos de valor para el contexto latinoamericano, donde aún escasean estudios comparativos entre disciplinas específicas del ciclismo. Investigaciones realizadas en Colombia y Brasil han abordado el perfil fisiológico de ciclistas de ruta (Ferrer et al., 2021), pero pocos trabajos han incorporado al BMX con diseño comparativo. En este sentido, nuestros hallazgos contribuyen a establecer parámetros de referencia locales y refuerzan la necesidad de diseñar programas de entrenamiento diferenciados según modalidad. En cuanto a la variabilidad observada, se identificó una dispersión considerable en los valores de VO_2 máx. en ciclistas de ruta, en comparación con la mayor homogeneidad entre los ciclistas de BMX. Esto puede explicarse por la diversidad de especialidades dentro del ciclismo de ruta (escaladores, sprinters, contrarrelojistas), así como por diferencias en volumen de entrenamiento, edad y estrategias de periodización (Stöggl y Sperlich, 2020). En cambio, la menor dispersión en BMX podría reflejar programas de entrenamiento más uniformes, centrados en fuerza explosiva y técnica de salida.

Desde un enfoque aplicado, los resultados tienen implicaciones directas para la planificación del entrenamiento. En el ciclismo de ruta, se recomienda integrar sesiones de alta intensidad (HIIT), entrenamiento polarizado y trabajo en zonas de umbral funcional (Rønnestad et al., 2020; Esteve- et al., 2021). En el caso del BMX, además del trabajo técnico y de fuerza, es recomendable incluir sesiones aeróbicas submáximas para mejorar la resíntesis de fosfocreatina y la recuperación metabólica (Turner y Stewart, 2014; Bompa y Buzzichelli, 2021). Asimismo, se identificó una correlación negativa moderada entre peso corporal y VO_2 máx., hallazgo consistente con la literatura que asocia una mejor relación potencia-peso con mayores rendimientos en disciplinas de locomoción (Zhang et al., 2022; Nimmerichter et al., 2023). Por el contrario, talla y edad no mostraron asociaciones significativas, posiblemente por la relativa homogeneidad de la muestra analizada. Este patrón refuerza la importancia de individualizar los entrenamientos no solo por modalidad, sino también por perfil morfofuncional. Finalmente, estudios como los de Plews et al. (2013) y Buchheit (2014) han planteado que la caracterización fisiológica del deportista debe integrar múltiples dimensiones, incluyendo biomarcadores funcionales como el umbral de lactato, la frecuencia cardíaca de recuperación (HRR), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), y el cociente respiratorio (RQ). Esta visión integradora permitiría avanzar hacia modelos de evaluación y monitoreo más precisos, sensibles a los cambios del entrenamiento y a la carga interna del atleta.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian diferencias estadísticamente significativas en el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) entre ciclistas de ruta y ciclistas de BMX Racing de alto rendimiento ($p < 0.001$). Los valores superiores observados en los ciclistas de ruta (72.75 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) en comparación con los de BMX (62.00 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) reflejan adaptaciones fisiológicas específicas de cada disciplina: resistencia prolongada y sostenida en ruta frente a esfuerzos explosivos intermitentes en el BMX. A pesar de estas diferencias, se confirma el papel funcional del sistema aeróbico en ambas modalidades. En el ciclismo de ruta, el VO_2 máx. sigue siendo uno de los principales predictores del rendimiento sostenido (Cove et

al., 2024), mientras que, en el BMX, su contribución ha sido documentada en la recuperación entre mangas y la capacidad de mantener el rendimiento en rondas sucesivas (Petruolo et al., 2020; Daneshfar et al., 2021; Wilke et al., 2022). Investigaciones recientes han demostrado que ciclistas de BMX con mayor capacidad aeróbica presentan menores niveles de fatiga acumulada y mayor tolerancia al esfuerzo repetido (García-Ramos et al., 2023). Se identificó una correlación negativa moderada entre el peso corporal y el VO_2 máx., lo que refuerza la importancia de optimizar la relación potencia-peso, especialmente en disciplinas de locomoción como el ciclismo (Zhang et al., 2022). Por el contrario, la talla y la edad no mostraron correlaciones significativas, posiblemente debido a la relativa homogeneidad de la muestra en cuanto a edad y nivel competitivo. Esta información resulta clave para diseñar programas de entrenamiento más precisos según el perfil morfofuncional del atleta.

Adicionalmente, se reafirma que el VO_2 máx. no debe ser considerado un predictor único del rendimiento deportivo. Estudios como los de Jamnick et al. (2022) y McGawley et al. (2023) han evidenciado que variables como la potencia crítica, el umbral de lactato, la economía de pedaleo y la tolerancia al lactato ofrecen una visión más completa del rendimiento funcional del ciclista. En este contexto, el uso de tests de campo como los cinco minutos de potencia (5MT) y la integración de biomarcadores metabólicos emergen como herramientas complementarias de gran valor (Caen et al., 2021). Desde un enfoque aplicado, los hallazgos respaldan la necesidad de estrategias de entrenamiento específicas. Para ciclistas de ruta, se recomienda un enfoque basado en periodización polarizada, sesiones de alta intensidad (HIIT) y trabajo en zonas de umbral funcional de potencia (Rønnestad et al., 2020; Esteve-Lanao et al., 2021). En cambio, para ciclistas de BMX, se propone una combinación de entrenamiento de fuerza explosiva, técnica específica, sprints repetidos y sesiones aeróbicas submáximas que favorezcan la recuperación fisiológica (Turner y Stewart, 2014; Louis et al., 2013). En el contexto latinoamericano, la literatura científica comparativa sobre disciplinas específicas del ciclismo sigue siendo escasa. La mayoría de los estudios disponibles se centran en ciclismo de ruta o MTB, dejando un vacío importante sobre disciplinas explosivas como el BMX. Esta investigación aporta datos representativos de deportistas ecuatorianos de élite, contribuyendo así a cerrar esa brecha y ofreciendo una base contextualizada para futuras intervenciones. Finalmente, se destaca la importancia de evolucionar hacia una caracterización fisiológica multidimensional, que incluya no solo medidas tradicionales como el VO_2 máx., sino también biomarcadores funcionales, respuestas adaptativas al entrenamiento y perfiles neuromusculares. Este enfoque es especialmente relevante para atletas de alto rendimiento, donde la especificidad de la carga, la gestión del estado de forma y la individualización del entrenamiento son determinantes del éxito competitivo.

Por consiguiente, se recomienda diseñar programas de entrenamiento específicos y diferenciados para cada modalidad deportiva, considerando las demandas fisiológicas particulares, como en el ciclismo de ruta, donde se puede combinar entrenamiento polarizado, sesiones de VO_2 máx sostenido y HIIT, y en el BMX, integrar sprints, técnica de salida y sesiones aeróbicas submáximas para recuperación. Es esencial también implementar un monitoreo continuo mediante biomarcadores funcionales como el umbral de lactato, HRR,

HRV y cociente respiratorio, para obtener una evaluación precisa de la carga interna y adaptación fisiológica del deportista, además de realizar evaluaciones longitudinales en diferentes fases del macrociclo para identificar la evolución del rendimiento. La incorporación de tecnologías portátiles validadas puede facilitar el control del entrenamiento sin pruebas invasivas frecuentes, optimizando variables como potencia, frecuencia cardíaca y percepción del esfuerzo. Asimismo, se aconseja enfocar estrategias en mejorar la relación potencia-peso mediante la optimización de la composición corporal y en el uso de perfiles morfofuncionales y modelos predictivos multivariables basados en parámetros antropométricos, edad y datos metabólicos para planes personalizados. Para el avance en investigaciones futuras, es recomendable diversificar metodologías con pruebas de campo validadas, ampliar y equilibrar las muestras según sexo y modalidad, y promover estudios longitudinales más robustos, garantizando así resultados más aplicables y generalizables en el ámbito del entrenamiento deportivo.

Referencias Bibliográficas

Astorino, T., & White, A. (2010). Assessment of aerobic capacity in athletes and non-athletes: Reliability and validity of different protocols. *Sports Medicine*, *40*(8), 701–721. https://doi.org/10.2165/11531930-000000000-00000

Bassett, D., & Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(1), 70–84. https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012

Beneke, R., Leithäuser, R., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *6*(1), 8–24.

Billat, L., Lepretre, P., Heugas, A., Laurence, M. Salim, D., & Koralsztein, J. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(2), 297–304. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048837.12290.3C

Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2021). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Editorial Paidotribo.

Boone, J., & Bourgois, J. (2012). VO_2 kinetics during exercise: Methodological aspects and relevance for training adaptations. *Sports Medicine*, *42*(6), 505–523. https://doi.org/10.2165/11631060-000000000-00000

Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, *5*, 73. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073

Caen, K., Bourgois, J., Boone, J., & Vermeiren, R. (2021). The five-minute maximal aerobic power test is a valid predictor of cycling performance. *European Journal of Sport Science*, *21*(7), 1013–1020. https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1837492

Clark, D., & Macdermid, P. (2021). The application of wearable technology to monitor external load in mountain biking. *Sensors*, *21*(5), 1597. https://doi.org/10.3390/s21051597

Cove, L., Esteve, J., & McGawley, K. (2024). Physiological determinants of cycling performance: Beyond VO_2 max. *Journal of Applied Sport Science*, *12*(1), 55–67.

Creswell, J., & Creswell, J. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications.

Currell, K., & Jeukendrup, A. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, *38*(4), 297–316.

Daneshfar, A., Moghadam, M., & Khalafi, M. (2021). Effects of aerobic capacity on repeated

sprint ability and recovery in BMX cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(3), 665–671. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002807

Esteve, J., Seiler, S., Rønnestad, B., & McGawley, K. (2021). Periodization models and methods for endurance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(5), 705–715. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0416

Ferrer, M., Ramos, A., & González, C. (2021). Perfil fisiológico de ciclistas élite colombianos. *Revista Colombiana de Ciencias del Deporte*, *12*(2), 34–42.

Field, A. (2020). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE Publications.

García, M., & López, A. (2023). Adaptaciones fisiológicas al entrenamiento de resistencia: Nuevas perspectivas. *Revista Española de Medicina del Deporte*, *29*(1), 10–20.

García, A., González, J., & Martínez, C. (2023). Functional biomarkers in BMX cycling: A multidimensional approach. *European Journal of Sport Science*, *23*(3), 317–326.

García, A., Janicijevic, D., & González, J. (2021). Estimation of VO_2 max in athletes using the five-minute test: A practical approach. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *16*(4), 900–908.

González, J., Mendoza, E., & Díaz, L. (2020). Criterios de muestreo en investigación deportiva. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y el Deporte*, *15*(1), 51–62.

Gravetter, F., & Wallnau, L. (2021). *Statistics for the behavioral sciences* (11th ed.). Cengage Learning.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(1), 3–13. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278

Jamnick, N., Pettitt, R., & Perry, C. (2022). Understanding the relationship between lactate thresholds and VO_2 kinetics. *Journal of Sports Sciences*, *40*(4), 433–441. https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1912084

Joyner, M., & Coyle, E. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, *586*(1), 35–44. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834

Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVA. *Frontiers in Psychology*, *4*, 863. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863

Louis, J., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2013). Aerobic capacity and repeated sprint performance in elite BMX cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(12), 3294–3298.

Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, *31*(5), 325–337. https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00002

Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO_2 max: Looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, *220*(2), 218–228. https://doi.org/10.1111/apha.12827

Martínez, J., & Gómez, D. (2019). Evaluación del perfil fisiológico en ciclistas de alto rendimiento de México. *Revista Mexicana de Ciencias del Deporte*, *20*(3), 28–36.

McArdle, W., Katch, F., & Katch, V. (2022). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (9th ed.). Wolters Kluwer.

McGawley, K., Esteve, J., & Seiler, S. (2023). Beyond VO_2 max: Comprehensive physiological profiling in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *33*(4), 431–442.

McLaughlin, J., Howley, E., Bassett, D., Thompson, D., & Fitzhugh, E. (2001). Test of the COSMED Fitmate for assessing VO_2 max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(3), 464–470.

Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Medicine*, *31*(7), 479–487.

Nimmerichter, A., Bachl, N., & Williams, C. (2023). Predicting cycling performance using critical power and VO_2 max field tests. *Journal of Sports Science & Medicine*, *22*(1), 112–120.

Petruolo, A., Rampinini, E., & Ferrari Bravo, D. (2020). Aerobic contribution to repeated sprint ability in BMX athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(5), 662–668. https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0485

Plews, D., Laursen, P., Kilding, A., & Buchheit, M. (2013). Heart rate variability in elite endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(4), 1029–1041.

Reaburn, P., & Dascombe, B. (2008). Endurance performance in masters athletes. *European Review of Aging and Physical Activity*, *5*(1), 31–42.

Rønnestad, B., Hansen, J., & Raastad, T. (2020). High-intensity interval training in road cyclists: Effects on performance and physiology. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *30*(1), 63–73.

Silva, A., Oliveira, M., & Pires, F. (2020). Validity of portable gas analyzers: A comparison with COSMED Fitmate. *Journal of Sports Science and Medicine*, *19*(2), 316–322.

Stöggl, T., & Sperlich, B. (2020). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in Physiology*, *11*, 593.

Tanaka, H., & Seals, D. R. (2008). Endurance exercise performance in masters athletes: Age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *Journal of Physiology*, *586*(1), 55–63.

Thomas, J., Nelson, J., & Silverman, S. (2022). *Research methods in physical activity* (8th ed.). Human Kinetics.

Turner, A., & Stewart, P. (2014). Strength and conditioning for BMX: A framework for training. *Strength and Conditioning Journal*, *36*(2), 1–11.

Wilke, C., Prado, A., & Ramos, G. (2022). The role of aerobic fitness in repeated sprint performance in elite BMX riders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *36*(4), 1002–1010.

Wilmore, J., Costill, D., & Kenney, W. (2012). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (7ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Zhang, Y., Yu, C., & Gao, Z. (2022). Relationship between body composition and aerobic performance in endurance athletes. *Journal of Human Kinetics*, *84*, 67–76.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Ruber Alexis Chiles Huera y Maritza Gisella Paula Chica.