



Orejuela-Aristizábal, D.F.; Gaviria-Chavarro, J.; Caicedo-Rodríguez, Y.S.; Rojas-Padilla, I.C. (2024). Factores determinantes en el rendimiento de ciclistas de pista con proyección a selección Colombia. *Journal of Sport and Health Research*. 16(3):413-426. <https://doi.org/10.58727/jshr.102243>

Original

FACTORES DETERMINANTES EN EL RENDIMIENTO DE CICLISTAS DE PISTA CON PROYECCIÓN A SELECCIÓN COLOMBIA

DETERMINING FACTORS IN THE PERFORMANCE OF TRACK CYCLISTS WITH PROJECTION TO THE COLOMBIAN SELECTION

FATORES DETERMINANTES NO DESEMPENHO DE CICLISTAS DE PISTA COM PROJEÇÃO PARA SELEÇÃO COLÔMBIA

Orejuela-Aristizábal, Diego Fernando¹; Gaviria-Chavarro, Javier¹; Caicedo-Rodríguez, Yhon Steven¹;
Rojas-Padilla, Isabel Cristina¹

¹Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte (Colombia)

Correspondence to:

Isabel Cristina Rojas Padilla

Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte.
Institución Universitaria Escuela Nacional del
Deporte. Colombia
Calle 9 # 34-01. Cali-Valle del Cauca- Colombia.
Código Postal: 760042
isabelcrojasp@gmail.com

*Edited by: D.A.A. Scientific Section
Martos (Spain)*



Received: 10/10/2023
Accepted: 03/02/2024



FACTORES DETERMINANTES EN EL RENDIMIENTO DE CICLISTAS DE PISTA CON PROYECCIÓN INTERNACIONAL

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar los factores relacionados con las capacidades físicas y composición corporal en ciclistas de pista con proyección a selección Colombia, para optimización del tiempo en 200 metros por comparativo entre regresión lineal múltiple y análisis multicriterio. Los 20 jóvenes ciclistas participantes, 65% hombres, 35% mujeres, con promedio de edad deportiva de 5.75 ± 1.80 . Los participantes realizaron pruebas Wingate, Salto contra movimiento “Counter Movement Jump” (CMJ), Salto sin contramovimiento “Squat Jump” (SJ), Salto desde banco “Drop Jump” (DJ), Sit and Reach y antropometría para determinar el rendimiento deportivo. En la medición de altura de salto, se obtuvieron medias de 0.27 metros (m), 0.25m y 0.26m, con desviación estándar de 0.04m, 0.05m y 0.03m para las variables CMJ, SJ y DJ respectivamente. Para las variables antropométricas concernientes en diámetros medidos en centímetros (cm), se observó una menor desviación estándar (0.18cm) en las mediciones de biestiloideo, con un promedio de 5.18cm. En perímetros, la variable con menor desviación estándar fue brazo relajado (0.89cm) con una media de 24.12cm, mientras que, cadera obtuvo la mayor desviación estándar (3.58cm) con un promedio de 87.34cm. Para pliegues medidos en milímetros (mm), las diferentes variables mostraron que las medias obtenidas en bíceps (3.83mm) y supra ilíaco (5.85mm) fueron las que presentaron desviaciones estándar más bajas 1.71mm y 1.49mm respectivamente. En conclusión el modelo de regresión lineal múltiple, mostró que el pico potencia en salto sin contra movimiento y la fuerza máxima de aterrizaje junto con el tiempo de salto en Salto de Caída son variables significativas para mejorar el tiempo en la prueba de 200 metros en ciclistas de pista.

Palabras clave: ciclismo pista, potencia anaeróbica, fuerza explosiva, perfil f-v, antropometría.

DETERMINING FACTORS IN THE PERFORMANCE OF TRACK CYCLISTS WITH INTERNATIONAL PROJECTION

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the factors related to physical capacities and body composition in track cyclists with projection to the Colombian national team, to optimize the time in 200 meters by comparison between multiple linear regression and multicriteria analysis. Of the 20 young cyclists who participated, 65% were men, and 35% were women, with an average sport age of 5.75 ± 1.80 . The participants performed Wingate, Counter Movement Jump (CMJ), Squat Jump (SJ), Drop Jump (DJ), Sit and Reach, and anthropometry tests to determine sports performance. In the jump height measurement, means of 0.27 meters (m), 0.25m, and 0.26m were obtained, with a standard deviation of 0.04m, 0.05m, and 0.03m for the CMJ, SJ, and DJ variables respectively. For the anthropometric variables concerning diameters measured in centimeters (cm), a lower standard deviation (0.18cm) was observed in the bistiloid measurements, with an average of 5.18cm. In perimeters, the variable with the lowest standard deviation was the relaxed arm (0.89cm) with an average of 24.12cm, while the hip obtained the highest standard deviation (3.58cm) with an average of 87.34cm. For folds measured in millimeters (mm), the different variables showed that the means obtained in the biceps (3.83mm) and supra iliacus (5.85mm) were the lowest standard deviations 1.71mm and 1.49mm respectively. In conclusion, the multiple linear regression model showed that the peak power in jumping without counter movement and the maximum landing force together with the time of jumping in jumping drop are significant variables to improve the time in the 200-meter test in track cyclists.

Keywords: track cycling, anaerobic power, explosive strength, f-v profile, anthropometry.



INTRODUCCIÓN

El rendimiento en competencia de ciclismo en pista, se atribuye a las características físicas, técnicas y tácticas que pueden ser medidas y analizadas. De esta manera, el entorno controlado presenta una ventaja cuando se realizan mediciones reproducibles, ya que permite evaluar cuantitativamente mediante tiempos, sensores y mediciones directas, la producción de potencia, lo que controla el resultado y aclara la eficiencia del proceso, modelando variables mecánicas y fisiológicas (Douglas, 2021). El ciclismo es un deporte en el cual el rendimiento depende del aporte físico y la interacción directa con un dispositivo mecánico; por ello, la antropometría, los parámetros relativos a la bicicleta y las exigencias del evento pueden tener un efecto importante en el rendimiento del ciclista (McLean & Parker, 1989). Este tipo de esfuerzos requiere entrenamiento de fuerza así como adaptaciones neuronales que permitan el reclutamiento de unidades en pro de la sincronía y coordinación intramuscular, las cuales están correlacionadas con el rendimiento de alta intensidad (Burnie et al., 2018).

La composición corporal emerge como un aspecto clave para explicar el tiempo en ciclistas de pista, pues la distribución de masa magra y grasa puede afectar la aerodinámica y la resistencia al aire, impactando directo en la velocidad y eficiencia de los ciclistas en la pista (Salvador, 2019). Asimismo, la producción de potencia máxima y la fuerza muscular, son aspectos críticos que influyen significativamente en el rendimiento en estos deportistas. Una mayor fuerza muscular conduce a un mejor rendimiento del movimiento, así como a una reducción del riesgo de lesiones, por lo que el desarrollo de métodos superiores de desarrollo de la fuerza es un componente crucial de los programas de preparación atlética (Harden et al., 2020). Por otra parte, los entrenadores buscan evidencia científica (Stadnyk et al., 2022), por tal motivo, es importante comparar el conocimiento de los expertos por medio de un análisis multicriterio y la relevancia de diferentes variables medidas directamente en los deportistas, para realizar un modelo que explique cuáles poseen un coeficiente mayor, determinando con su jerarquía. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar programas de entrenamiento que se centren en el aumento de la masa y fuerza muscular para exaltar la producción de potencia y, por ende,

mejorar los resultados en la pista. La investigación en esta área permitirá establecer cuáles son los ejercicios y enfoques de entrenamiento más efectivos para desarrollar la fuerza muscular y, en última instancia, optimizar el rendimiento de los ciclistas de pista (Kordi et al., 2020). De esta manera, el objetivo de esta investigación fue determinar los factores relacionados con las capacidades físicas y composición corporal en ciclistas de pista con proyección a selección Colombia para optimización del tiempo en 200 metros por comparativo entre regresión lineal múltiple y análisis multicriterio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo de estudio

Investigación cuantitativa analítica con método deductivo, observacional y de corte transversal.

Participantes

Deportistas del Valle del Cauca con proyección a Selección Colombia, de ciclismo de pista, entre 14 a 17 años, que hubieran iniciado su proceso deportivo con mínimo un año de antigüedad, en entrenamiento continuo por mínimo un año, sin lesiones osteoarticulares u osteomusculares dentro de los seis meses anteriores. Se trabajó con un tamaño de muestra no probabilístico a conveniencia.

Instrumentos

Se realizó prueba de Bosco con la plataforma de fuerza ForceDecks para evaluar fuerza explosiva de los miembros inferiores, mediante Salto contra movimiento “Counter Movement Jump” (CMJ), Salto sin contramovimiento “Squat Jump” (SJ) y Salto desde banco “Drop Jump” (DJ). Para medir potencia y resistencia anaeróbica mediante pedaleo máximo durante 30 segundos se realizó la prueba de Wingate con el rodillo de entrenamiento Tack T2875.60 NEO 2T. La prueba de velocidad de 200 metros se realizó con cronómetro Seiko. Por su parte, la prueba fuerza-velocidad se llevó a cabo evaluando 1RM con Encoder Lineal ADR mediante levantamiento de peso en sentadilla media. Finalmente la prueba de flexibilidad con banco de sit-and-reach se realizó con un banco Novel Products, inc. Adicionalmente, se tomaron medidas antropométricas: el peso fue tomado con báscula Tanita; talla de pie y talla sentado con tallímetro



SECA; envergadura y perímetros con cinta métrica Lufkin y pliegues, diámetros y alturas con plicómetro y antropómetros Cerscorf. Todos los instrumentos pertenecen al laboratorio de investitación de la Escuela Nacional del Deporte y se encontraban calibrados para la fecha de las mediciones. Las mediciones antropométricas se hicieron aplicando el protocolo de la Sociedad Internacional para el avance de la Cineantropometría -ISAK-, y las mediciones fueron tomadas por una antropometrista ISAK nivel 2.

Procedimiento

Los participantes fueron informados sobre el objetivo y metodología del estudio aceptando su participación a través de la firma de asentimiento informado (menores de edad) y consentimiento de sus acudientes o de los deportistas mayores de edad. Cada participante debió asistir a la citación, con ropa y calzado adecuado para realizar las pruebas y llevar su bicicleta. Antes de las pruebas físicas los participantes realizaron un calentamiento guiado como ejercicios de movilidad articular, estiramientos y un período de actividad física suave para elevar la temperatura corporal y preparar los músculos para el esfuerzo. Se aseguró un lugar propicio para cada prueba, con ambientación, seguridad y privacidad para los deportistas. Se entrevistaron entrenadores especializados en ciclismo de pista después de obtener su consentimiento informado.

Análisis de datos

Se emplearon dos metodologías analíticas: regresión lineal múltiple y análisis multicriterio utilizando el método AHP (Analytic Hierarchy Process). Se realizó una descripción univariada para las variables incluidas en el estudio, abordando cualitativas y cuantitativas. Para las cualitativas, se determinaron frecuencias absolutas y relativas de cada categoría. Para las cuantitativas, se calcularon medidas de tendencia central, como la media y desviación estándar. En adelante, se detallan los procedimientos de prueba de normalidad y las correlaciones de las variables, el modelo de regresión lineal múltiple y el análisis multicriterio mediante el método AHP, así como la comparación de los resultados obtenidos de ambas metodologías. Esta combinación de enfoques analíticos proporcionó una visión integral de los

factores influyentes en las capacidades físicas y composición corporal de los ciclistas.

Consideraciones éticas

La propuesta de investigación fue avalada por el comité de ética de la Escuela Nacional del Deporte el 22 de diciembre del 2022 con número 40.07.341. Esta investigación se consideró con riesgo mínimo dentro de la resolución colombiana 8430 de 1993. Los datos se manejaron respetando la privacidad y la política de tratamiento de datos. La confidencialidad se aseguró mediante códigos numéricos y encriptación de archivos. Los procedimientos siguieron los principios éticos de la Declaración de Helsinki.

RESULTADOS

De los 20 jóvenes ciclistas participantes del estudio, 65% eran hombres y 35% mujeres, con una edad deportiva entre 2 y 9 años, con un promedio de $5,75 \pm 1,8$.

Con respecto a las variables cuantitativas en las cuales estuvo presente la medición de altura de salto, se obtuvieron medias de 0,27m, 0,25m y 0,26m con desviación estándar de 0,04, 0,05 y 0,03 para las variables CMJ, SJ y DJ respectivamente. Para las variables antropométricas concernientes en diámetros, se observó una menor desviación estándar (0,18cm) en las mediciones de biestiloideo, con un promedio de 5.18cm. En medición de perímetros la variable con un valor menor referente a la desviación estándar fue brazo relajado (0,89cm) con una media de 24.12cm, mientras que, en perímetro de cadera se obtuvo la mayor desviación estándar (3,58cm) con un promedio de 87,34cm. Para pliegues, las diferentes variables mostraron que las medias obtenidas en bíceps (3,83mm) y supra iliaco (5,85mm) fueron las que presentaron desviaciones estándar más bajas 1,71mm y 1,49mm respectivamente. (Tabla 1)

Al revisar las variables en las cuales se midió fuerza y tiempo de salto por medio de plataforma, se vio que en fuerza, dos de ellas presentan valores muy pequeños (0,08 y 0,09 porcentaje peso) en las desviaciones estándar pertenecientes a fuerza excéntrica DJ y fuerza máxima salto CMJ, con medias de 1,93 y 2,08 porcentaje peso, según orden



en que se escribieron las variables. En las mediciones de tiempo de salto, la DJ fue la de menor valor en desviación estándar (0,02 segundos) con una media de 0,06 segundos, mientras que las obtenidas en CMJ, SJ y DJ, tiempo de vuelo fueron muy similares en desviación estándar 0,03 segundos, con medias de 0,40; 0,45 y 0,44 segundos respectivamente (Tabla 1).

TABLA 1. Estadísticos descriptivos

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad Deportiva (años)	2	9	5,75	1,88
Flexibilidad (centímetros)	21	43	31,15	4,95
Peso (kilogramos)	48	66,3	54,27	4,02
Talla (metros)	1,59	181,6	58,77	80,06
Envergadura (metros)	1,52	1,87	1,65	0,08
Pliegue Triceps (milímetros)	4,0	18	7,86	3,36
Pliegue Subescapular (milímetros)	5,0	13	7,8	1,86
Pliegue Biceps (milímetros)	2,0	9	3,83	1,71
Pliegue Cresta (milímetros)	5,0	20	10,2	2,84
Pliegue Supra espinal (milímetros)	3,0	9	5,85	1,49
Pliegue Abdominal (milímetros)	4,0	16	9,5	2,56
Pliegue Muslo (milímetros)	5,0	20	11,5	3,73
Pliegue Pierna (milímetros)	4,0	13	8,05	2,56
Perímetro Brazo Relajado (centímetros)	22,5	26,2	24,12	0,89
Perímetro Brazo Contraído (centímetros)	22,5	28,6	24,67	1,33
Perímetro Cintura (centímetros)	60	69,8	64,79	2,39
Perímetro Cadera (centímetros)	80,2	95,6	87,34	3,58
Perímetro Muslo (centímetros)	41,4	51,2	46,83	2,03
Perímetro Pierna (centímetros)	30,5	36	32,4	1,12
Diámetro Humeral (centímetros)	5,7	7,2	6,67	0,33
Diámetro Biestiloideo (centímetros)	4,8	5,6	5,18	0,18
Diámetro Femoral (centímetros)	8,3	10,1	9,18	0,35
FCmáxima prueba (latidos/minutos)	164	210	191,6	9,17
Potencia pico (vatios)	559	1212	819,2	134,6
Índice fatiga (porcentaje)	43,6	49	45,82	1,15
Fuerza ExcéntricaDJ (porcentaje/peso)	1,75	2,19	1,93	0,08
FuerzaConcéntricaDJ (porcentaje/peso)	1,75	2,65	2,07	0,19
FuerzaMaxAterrizajeDJ (porcentaje/peso)	2,78	7,28	4,29	0,96
TiempoSaltoDJ (segundos)	0,57	0,69	0,62	0,02
TiempoVueloDJ (segundos)	0,36	0,56	0,44	0,03
PicoPotenciaDJ (vatios)	1627,51	3224,35	2387,82	381,7
AlturaSaltoDJ (metros)	0,17	0,41	0,25	0,05
VelocidadSaltoDJ (metros/segundos)	1,73	2,95	2,34	0,27



FuerzaMaxSaltoSJ (porcentaje/peso)	1,78	2,31	2,09	0,11
FuerzaMaxAterrizajeSJ (porcentaje/peso)	2,73	5,41	3,86	0,66
TiempoSaltoSJ (segundos)	0,31	0,51	0,40	0,03
TiempoVueloSJ (segundos)	0,35	0,54	0,43	0,04
PicoPotenciaSJ (vatiros)	1656,65	2865,31	2355,81	289,6
AlturaSaltoSJ (metros)	0,18	0,35	0,26	0,03
VelocidadSaltoSJ (metros/segundos)	2,07	2,67	2,31	0,14
FuerzaMaxSaltoCMJ (porcentaje/peso)	1,81	2,26	2,08	0,09
FuerzaMaxAterrizajeCMJ (porcentaje/peso)	3,41	6,24	4,59	0,64
TiempoSaltoCMJ (segundos)	0,76	1,00	0,89	0,05
TiempoVueloCMJ (segundos)	0,35	0,54	0,45	0,03
PicoPotenciaCMJ (vatiros)	1562,41	3094,84	2356,39	308,2
AlturaSaltoCMJ (metros)	0,17	0,37	0,27	0,04
VelocidadSaltoCMJ (metros/segundos)	1,92	2,74	2,31	0,14
200Metros	13,01	18,23	15,16	1,10
Fuerza Encoder (kilogramos)	45	85	63,05	7,92

Fuente: propia

Tras aplicar la prueba de normalidad (test Shapiro Wilk), las variables que no presentaron una distribución normal fueron: Peso, Talla, Pliegue de Tríceps, Subescapular, Bíceps, Cresta; Perímetro Pierna; Diámetro Humeral, Frecuencia máxima prueba Wingate, Fuerza máxima aterrizaje DJ, Tiempo Vuelo DJ, Altura Salto DJ, Tiempo Salto SJ, Velocidad Salto SJ, Pico Potencia CMJ y Velocidad Salto CMJ, con valores de p menores a 0,05, mientras que las otras 37 variables presentaron valores de p entre 0,058 y 0,992.

TABLA 2. Correlaciones (Pearson) variable 200 Metros

Variables	Correlación	P valor
Envergadura	-0,559	0,01
FuerzaExcéntricaDRJ	-0,488	0,028
ÍndiceReactFuerzaDRJ	-0,549	0,012
FuerzaMaxAterrizajeSJ	-0,487	0,029
TiempoVueloSJ	-0,478	0,032
ÍndiceReactFuerzaSJ	-0,508	0,022
AlturaSaltoSJ	-0,54	0,014
ÍndiceReactFuerzaCMJ	-0,518	0,019
AlturaSaltoCMJ	-0,517	0,019

Fuente: Propia

Al realizar las correlaciones por medio del test de Pearson entre las variables independientes que presentaron distribución normal y la variable dependiente (prueba de 200 metros), se observó que muchas de ellas presentan valores estadísticamente significativos siendo estos: envergadura, fuerza excéntrica para DJ, índice reactivo de fuerza DJ, fuerza máxima aterrizaje SJ, Tiempo Vuelo SJ, Índice reactivo fuerza SJ, Altura Salto SJ, Índice reactivo fuerza CMJ y Altura Salto CMJ. (Tabla 2)

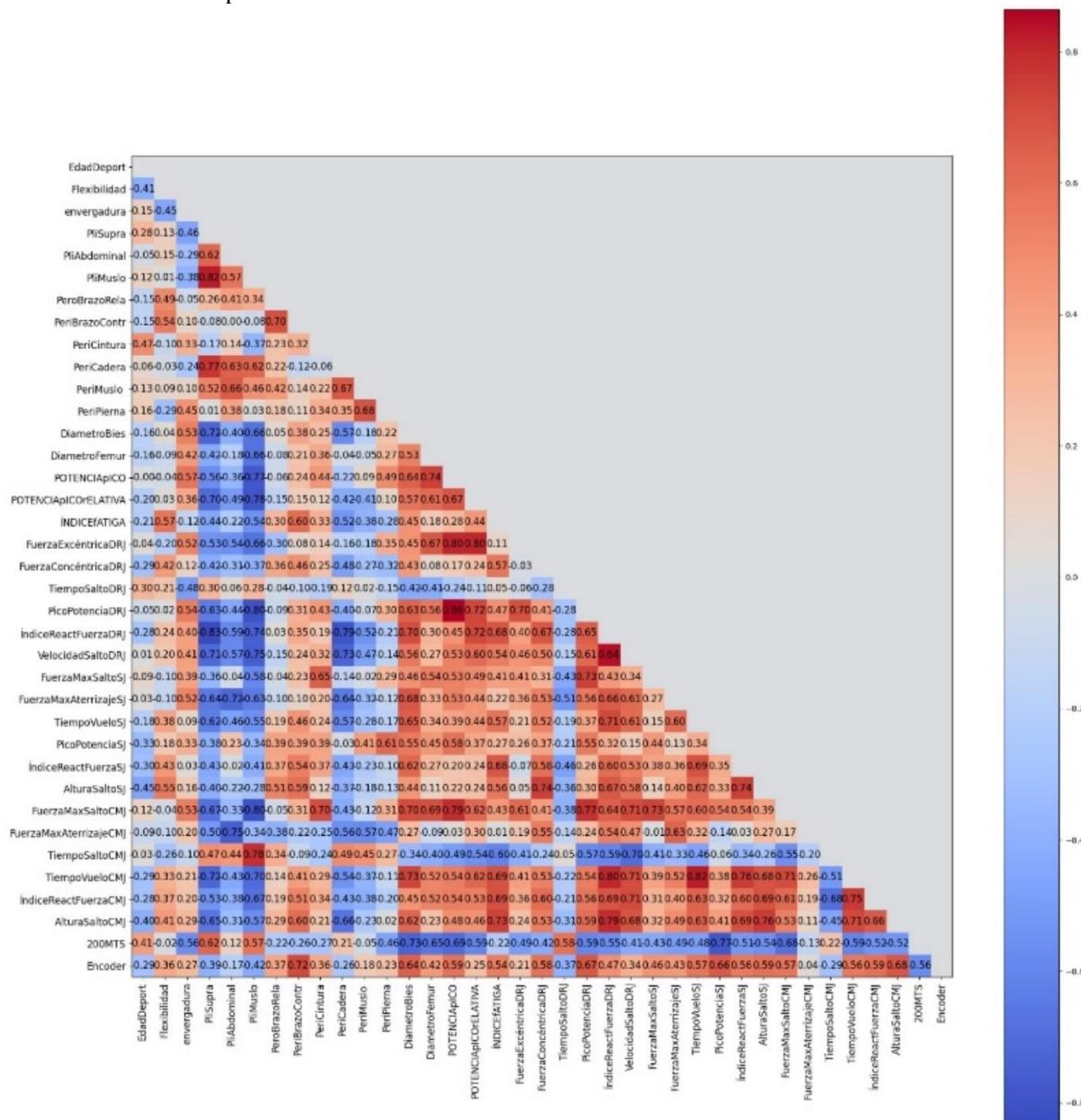
Por otra parte, se realizó un mapa de calor para identificar visualmente las correlaciones por medio de intensidad del color presente en cada casilla que representa el cruce de variables, (figura 1).

Al realizar el modelo de regresión lineal múltiple, para examinar qué variables eran más relevantes para mejorar el tiempo en la prueba de 200m en ciclistas de pista y después de aplicar el método de selección de variables por pasos, se identificaron tres variables significativas: pico potencia SJ, fuerza máxima de aterrizaje en DJ y tiempo de salto en DJ.

Los coeficientes estimados para estas variables fueron: pico potencia SJ de -0,003 Vatiros (W), fuerza máxima de aterrizaje en DJ de -0,47 porcentaje peso y tiempo de salto en DJ de 10,92 segundos. Todos los coeficientes mostraron ser estadísticamente significativos, con valores de p inferiores a 0,003.

Esto indicó que cada una de estas variables tuvo un efecto significativo en el tiempo de la prueba de 200m en ciclistas de pista.

FIGURA 1. Mapa de calor



Fuente propia

La tolerancia se utilizó para evaluar la multicolinealidad entre las variables predictoras. Los valores de tolerancia obtenidos fueron 0,92, 0,83 y 0,08 para pico potencia SJ, fuerza máxima de aterrizaje en DJ y tiempo de salto en DJ, respectivamente. Estos valores sugieren que no se observa una multicolinealidad problemática entre estas variables. Valores de tolerancia más cercanos a

1, indican que la variable tiene una influencia única y no está altamente correlacionada con las demás variables predictoras.

Además, se calculó el Valor de Inflación de la Varianza (VIF) para evaluar la multicolinealidad. Los valores VIF obtenidos fueron 1,08, 1,19 y 1,23 para pico potencia SJ, fuerza máxima de aterrizaje en DJ y



tiempo de salto en DJ, respectivamente. Estos valores indicaron que no hubo una inflación significativa de la varianza debido a la multicolinealidad, ya que estuvieron cerca de 1. Valores de VIF por encima de 1 pueden indicar multicolinealidad, pero en este caso, los valores cercanos a 1 sugieren que las variables no están altamente correlacionadas.

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el modelo en su conjunto es estadísticamente significativo, con un valor de p de 0,000. Esto indicó que las variables predictoras incluidas en el modelo tuvieron un efecto conjunto en la predicción del tiempo de la prueba de 200 metros. El coeficiente de determinación (R cuadrado) fue de 0,92, lo que significa que aproximadamente el 92,2% de la variabilidad en el tiempo de la prueba puede ser explicada por las variables incluidas en el modelo. El coeficiente de determinación ajustado, que tiene en cuenta el número de variables predictoras en el modelo, fue de 0,90. Esto indica que el modelo tiene un buen ajuste, ya que el R cuadrado ajustado se acerca al R cuadrado.

El valor obtenido en la prueba de Durbin-Watson fue de 1,79. Este valor se encontró en el rango deseable cercano a 2, lo que sugirió que no hubo evidencia de autocorrelación en los residuos del modelo. La falta de autocorrelación indica que los errores del modelo son independientes entre sí y no están relacionados secuencialmente.

También, se calcularon los intervalos de confianza al 95% para los coeficientes de las variables predictoras. Para pico potencia SJ, fue de -0,003 a -0,002 W. Para fuerza máxima de aterrizaje en DJ, de -0,660 a -0,289 porcentaje peso. Y para tiempo de salto en DJ, de 4,210 a 17,637 segundos. Estos intervalos indican la incertidumbre alrededor de los coeficientes estimados y proporcionan una idea de su precisión.

Se realizaron entrevistas a tres entrenadores expertos en la disciplina y a través del método de análisis multicriterio AHP se determinó la importancia relativa de los diferentes criterios evaluados. (tabla 3) Al comparar los resultados, se observaron algunas diferencias entre los entrenadores en términos de la importancia asignada a cada criterio. Sin embargo, se identificaron ciertos patrones comunes. La potencia

anaeróbica fue considerada como el factor más relevante; la fuerza máxima también fue considerada como un factor importante, aunque hubo variabilidad en los valores asignados ya que el entrenador 3 le dio la mayor importancia. La fuerza explosiva y la resistencia anaeróbica también fueron criterios considerados relevantes por los entrenadores, aunque en menor medida. La flexibilidad y la antropometría fueron los criterios menos importantes en general, con valores más bajos asignados por los entrenadores.

La potencia anaeróbica se destacó como el criterio más importante, con un promedio de 37%. Esto indicó que los entrenadores consideraron que la capacidad de generar potencia durante esfuerzos de alta intensidad y corta duración es fundamental en el rendimiento de los ciclistas de pista. La fuerza máxima ocupó el segundo lugar en importancia (23%). Esto sugiere que la capacidad de generar una gran fuerza muscular en momentos clave, como los sprints o las arrancadas, es un factor crucial para el rendimiento de los ciclistas. La resistencia anaeróbica ocupó el tercer lugar (18%); esto implica que la capacidad de mantener esfuerzos de alta intensidad durante períodos prolongados influye significativamente en el rendimiento de los ciclistas de pista. La fuerza explosiva se encontró en el cuarto lugar (13.7%) y está relacionada con la capacidad de generar una rápida explosión de fuerza, lo cual es importante para los arranques y aceleraciones en la pista. La flexibilidad y la antropometría tuvieron menor importancia en comparación con los otros criterios evaluados. La flexibilidad (6%), indicó que los entrenadores consideraron que la amplitud de movimiento en las articulaciones no es un factor tan determinante en el rendimiento de los ciclistas de pista. La antropometría, que incluye medidas como el peso y la altura, promedia un 4%, lo que sugiere que las características físicas específicas de los ciclistas tienen una influencia relativamente menor en el rendimiento.

Con el fin de definir el modelo apropiado para identificar los factores relevantes en las capacidades físicas y composición corporal que influyen en el rendimiento de los ciclistas de pista del Valle del Cauca, se realizaron pruebas para evaluar si los supuestos de la regresión lineal múltiple eran adecuados.



Se examinaron los supuestos de los residuos para asegurar que no hubiera problemas de multicolinealidad y autocorrelación en el modelo. Para evaluar la multicolinealidad entre las variables predictoras, se utilizaron dos medidas: la tolerancia y el Valor de Inflación de la Varianza (VIF), las cuales se mencionan en el apartado del modelo de regresión lineal múltiple.

Los resultados de las pruebas indican que se cumplen los supuestos de la regresión lineal múltiple, lo que respalda la elección de este modelo para identificar los factores relevantes en las capacidades físicas y composición corporal que influyen en el rendimiento de los ciclistas de pista del Valle del Cauca. No se observó una multicolinealidad problemática entre las variables predictoras y no se encontró evidencia de autocorrelación en los residuos del modelo. Estos hallazgos respaldan la validez y la fiabilidad del modelo de regresión lineal múltiple utilizado en este estudio para analizar la relación entre los factores evaluados y el rendimiento de los ciclistas de pista.

TABLA 3. Método de análisis multicriterio AHP

Variables	Entrena dor 1 (ratio de consiste ncia CR=5.9 %)	Entrena dor 2 (ratio de consiste ncia CR=8.6 %)	Entrena dor 3 (ratio de consiste ncia CR=8.3 %)	Porcentaje promedio del análisis multicriterio
Fuerza explosiva	0,076	0,256	0,079	13,7
Potencia anaeróbica	0,546	0,343	0,221	37
Resistencia anaeróbica	0,132	0,263	0,144	18
Fuerza máxima	0,16	0,048	0,475	23
Flexibilidad	0,05	0,064	0,05	6
Antropometría	0,037	0,026	0,031	4

Fuente propia

DISCUSIÓN

Diferentes investigaciones indican que el salto CMJ está altamente relacionado con velocidad (Viviescas et al., 2017; Aravena et al., 2021; Barrera et al., 2021); fuerza (Luarte et al., 2014; Aravena et al., 2021) y potencia máxima (Barrera et al., 2021; Benavides-Roca et al., 2021) aunque estos hallazgos se han hecho en deportes diferentes al ciclismo, proveen una idea de la importancia de la relación de estas variables. Sin embargo, en los resultados de la regresión lineal múltiple de este estudio, esta variable no fue estadísticamente significativa para el rendimiento en ciclistas. La velocidad contráctil del músculo al momento de realizar el salto CMJ permite una acumulación más rápida de tensión en tendones y así superar el rápido acortamiento del músculo. Por otro lado, los sujetos con tendón calcáneo más largo producen menor taza de fuerza durante la ejecución del CMJ (Bobbert, 2001). Una hipótesis es probablemente que la población de estudio presentaba un tendón calcáneo más largo y por esta razón el salto CMJ no fue significativo en los resultados de la regresión lineal múltiple para determinar el rendimiento en los ciclistas de 200m. El tendón calcáneo presenta un tiempo de adaptación rápido al entrenamiento de fuerza muscular, experimentando pocos cambios en la tensión máxima a pesar de aumento de fuerza muscular (Couppe et al., 2015). De igual manera es importante considerar que la magnitud y tiempo de adaptación puede verse influenciado por diferentes factores como el régimen de ejercicio, carga, número de repeticiones, rango de movimiento, modo de contracción entre otros (Meyer et al., 2009).

De acuerdo con los resultados se identificaron tres variables relevantes para mejorar dicho rendimiento: pico potencia SJ, fuerza máxima de aterrizaje en DJ y tiempo de salto en DJ. Robert et al., (2020) concluyó que el 60% de la potencia media en la prueba de Wingate está estrechamente relacionada con los saltos verticales. Por consiguiente, el entrenamiento de fuerza debe enfocarse en la mejora del desempeño en los saltos verticales impactando los tiempos de las pruebas específicas. Así mismo, la identificación del músculo que genera mayor activación eléctrica al momento de realizar un salto vertical es útil (Jacob et al. 2011) y demuestra que los sujetos que presentan mayor grosor en el vasto lateral del cuádriceps desarrollan mayor fuerza de reacción durante salto



DJ.

El salto DJ se ha convertido en predictor del rendimiento físico de los ciclistas de pista (Bissas & Havenetidis, 2008) afirmando que la capacidad de sprint está relacionada con el desempeño del DJ, ya que, este salto requiere de la participación de grupos musculares agonistas, antagonista y sinergistas; de esta manera, se genera una coordinación inter e intramuscular permitiendo mayor reclutamiento de motoneuronas (Bissas & Havenetidis, 2008). En el estudio de Coh y Mackala, (2021) se encontraron tres variables estadísticamente significativas para el salto DJ: altura de salto, velocidad en fase excéntrica y velocidad en fases concéntricas, estrechamente relacionadas con la aceleración inicial en los primeros 10m de la carrera, correlación respaldada por otros estudios (Rimmer & Sleivet, 2000; Markovic et al., 2004; Maulder et al., 2006; Martinopoulou et al., 2011).

En diferentes investigaciones (Rimmer & Sleivet, 2000; Markovic et al., 2004; Maulder et al., 2006; Martinopoulou et al., 2011) se menciona que los saltos verticales (CMJ, SJ, DJ) son predictores del rendimiento en ciclismo de pista; a mayor distancia vertical menor será el tiempo de ejecución en la prueba. Sin embargo, Van Hooren y Zolotarjova (2017) indicaron que el salto SJ no es un movimiento 100% propio, ya que, a menor o mayor medida siempre estará presente el contra movimiento (Bobbert, 2001; Hasson et al., 2004; Moran & Wallace, 2007).

En la fase excéntrica del CMJ se almacena energía elástica en los tejidos tendinosos y posteriormente se utiliza dicha energía en la fase concéntrica para aumentar la producción de fuerza; esta es una de las principales razones por la cual el CMJ genera mayor desplazamiento vertical que el SJ (Bosco et al., 1987). En relación con los resultados de la regresión lineal múltiple de este estudio, una de las variables más relevantes para mejorar el tiempo en 200m fue el pico de potencia en SJ.

Investigadores en Australia (Tofari et al., 2017), evaluaron los efectos de un programa de entrenamiento en ciclistas de élite, encontrando mejoras significativas en la potencia máxima generada durante pruebas en ergómetro y en los tiempos de esfuerzos de corta distancia en pista. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de

esta investigación, en la que también se encontró que la potencia máxima es una variable relevante en los tiempos para los 200 metros en pista. En cuanto a las correlaciones entre las variables de función neuromuscular en el ergómetro y los resultados del rendimiento en pista, tanto este estudio como el artículo mencionado encontraron correlaciones significativas entre la potencia máxima y los tiempos en pruebas de corta distancia en pista. Esto respalda la idea de que la potencia máxima es un factor determinante en el rendimiento de los ciclistas de pista, ya que una mayor potencia máxima está asociada con tiempos más rápidos en esfuerzos de corta distancia en pista.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada estudio se realizó en contextos diferentes, con muestras y metodologías específicas. Por lo tanto, las diferencias en los resultados pueden deberse a las características específicas de los ciclistas como: edades, niveles de experiencia y capacidades físicas iniciales. Estas diferencias pueden influir en los resultados obtenidos, ya que cada muestra puede responder de manera única al entrenamiento y mostrar diferentes niveles de mejora en el rendimiento.

Milan y Mackala (2021) investigaron la relación entre variables cinemáticas y cinéticas del salto vertical en esprintes eslovenos de nivel nacional mostrando diferencias significativas entre élite y sub-élite en varias variables del salto vertical, como altura del salto y velocidad de despegue, lo que coincide con esta investigación. Esto sugiere que la capacidad de generar una mayor altura en el salto vertical puede estar relacionada con el rendimiento en ambos deportes, ya sea ciclismo de pista o atletismo de velocidad. Adicionalmente al ser dos deportes diferentes, ciclismo y atletismo, esto implica que existen diferencias específicas en los patrones de movimiento y las demandas físicas de cada deporte, lo que puede influir en las variables cinemáticas y cinéticas del salto vertical.

En cuanto a las variables relacionadas con las capacidades físicas, Robert et al., (2020) encontraron diferencias significativas en los resultados de los diferentes tipos de salto vertical entre un grupo élite (GE) y un grupo recreativo (GR). Los corredores del GR obtuvieron alturas significativamente más bajas



en el salto SJ (diferencia de -31.83 a -0.84 cm; $p = .042$) y en el salto CMJ (diferencia de -32.65 a -0.90 cm; $p = .041$) en comparación con el GE. En esta investigación, se realizaron mediciones de fuerza explosiva, potencia y resistencia anaeróbica, así como pruebas de velocidad y flexibilidad. Se encontró que la potencia anaeróbica, la fuerza máxima de aterrizaje en salto de profundidad y el tiempo de salto en salto de profundidad, mostraron una correlación significativa con el tiempo en la prueba de 200 metros ($p < .05$). Estos hallazgos indican la importancia de estas variables en el rendimiento de los ciclistas de pista. Al comparar los resultados de ambos estudios, se puede observar que la potencia anaeróbica fue identificada como un factor relevante tanto en la realizada por Robert et al., (2020) como en esta investigación. En ambos casos, se encontró una correlación significativa entre la potencia anaeróbica y el rendimiento en las pruebas evaluadas ($p < .05$). Esto sugiere que la capacidad de generar una rápida explosión de fuerza es fundamental para el desempeño en disciplinas como el BMX y el ciclismo de pista.

CONCLUSIONES

El modelo de regresión lineal múltiple mostró que el pico potencia SJ, la fuerza máxima de aterrizaje en DJ y el tiempo de salto en DJ son variables significativas para mejorar el tiempo en la prueba de 200 metros en ciclistas de pista. Estas variables tienen coeficientes negativos, indicando un mayor pico potencia SJ, una mayor fuerza máxima de aterrizaje en DJ y un mayor tiempo de salto en DJ están asociados con una disminución en el tiempo de la prueba de 200m; también explicó aproximadamente el 92,2% de la variabilidad en el tiempo de la prueba de 200m. Esto sugiere que las variables incluidas en el modelo tienen un impacto significativo en el tiempo de la prueba y que el modelo tiene un buen ajuste. El modelo de regresión lineal múltiple ofrece una perspectiva cuantitativa y específica al identificar la influencia de variables específicas en el rendimiento de los ciclistas.

Este estudio resalta la importancia de la potencia anaeróbica y la fuerza máxima como factores clave en el rendimiento de los ciclistas de pista del Valle del Cauca con proyección a selección Colombia.

Utilizando estos hallazgos, un entrenador puede implementar un programa de entrenamiento más específico y científicamente fundamentado. Al centrarse en mejorar la fuerza máxima de aterrizaje y otras áreas clave identificadas, los entrenadores pueden ayudar a sus ciclistas a lograr mejoras sustanciales en su rendimiento, como, por ejemplo, Incorporar ejercicios pliométricos que mejoren la fuerza reactiva y la capacidad explosiva, esenciales en el DJ. Estos ejercicios ayudarán a los ciclistas a desarrollar una mayor potencia y agilidad, elementos cruciales para el sprint y los arranques rápidos. Es importante recordar que cada ciclista es único, y los programas deben ser adaptados a sus necesidades individuales para maximizar su potencial.

Los resultados obtenidos a través del análisis multicriterio AHP respaldan la importancia de estos factores en la planificación y desarrollo de programas de entrenamiento para ciclistas de pista, basados en el control de la velocidad de ejecución. El enfoque multicriterio proporciona una perspectiva holística al considerar múltiples criterios de evaluación y las opiniones de expertos en el campo. El análisis multicriterio AHP proporciona una evaluación subjetiva y basada en la opinión de los entrenadores, capturando su conocimiento y experiencia en el campo.

Como limitación de este estudio, consideramos el hecho de que no existen muchas investigaciones en ciclistas que hayan analizado las variables revisadas en esta investigación, lo que hizo compleja la discusión porque la comparación se debió realizar basándonos en hallazgos en deportistas de diferentes disciplinas. Esto es muy importante tenerlo en cuenta porque así como dentro de una disciplina cada deportista es diferente, cada deporte lo es también.

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a los deportistas de la selección Valle de ciclismo de pista y por supuesto a los entrenadores Valentina Gómez y Samir Cambindo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aravena, A. O., Gallardo, J. A., Hernández-Mosqueira, C., & Valenzuela, T. H. (2021). Relación entre la prueba de agilidad específica en taekwondo (tsat), la fuerza



- explosiva y la velocidad líneal en 5-m atletas de taekwondo de ambos sexos. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (39), 84-89.
2. Barrera, J., Contreras, L. M. V., Lorca, Á. S., Cid, F. M., Zurita, E., & Sarmento, H. (2021). Relación del salto contramovimiento y pruebas de velocidad (10-30 m) y agilidad en jóvenes futbolistas chilenos. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (41), 775-781.
 3. Benavides-Roca, L., Salazar, C., Diaz, G. (2021). Relation between anthropometric muscle mass characteristics of lower limbs and jump power in young athletes. *Movimiento Humano y Salud*, 18(2), 1-11. <https://doi.org/10.15359/mhs.18-2.9>
 4. Bissas, A. I., y Havenetidis, K. (2008). The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 49–54.
 5. Bobbert, M. F. (2001). Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: A simulation study. *Journal of Experimental Biology*, 204(3), 533–542. <https://doi.org/10.1242/jeb.204.3.533>
 6. Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R., Giovenali, P., Latteri, F., Iachelli, G., Faina, M., Colli, R., Dal Monte, A., La Rosa, M., Cortili, G., & Saibene, F. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(2), 138–143. <https://doi.org/10.1007/BF00640636>
 7. Burnie, L., Barratt, P., Davids, K., Stone, J., Worsfold, P., & Wheat, J. (2018). Coaches' philosophies on the transfer of strength training to elite sports performance. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13(5), 729–736. <https://doi.org/10.1177/1747954117747131>
 8. Coh, M., & Mackala, K. (2013). Differences between the elite and subelite sprinters in kinematic and dynamic determinations of countermovement jump and drop jump. *Journal of strength and conditioning research*, 27(11), 3021–3027. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828c14d8>
 9. Couppé C, Svensson RB, Silbernagel K, Langberg H, Magnusson SP. (2015). Eccentric or Concentric Exercises for the Treatment of Tendinopathies? *Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy*, 45(11):85363.
 10. Douglas, J. (2021). Comment on: “Using Field Based Data to Model Sprint Track Cycling Performance.” *Sports Medicine - Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00348-0>
 11. Harden, M., Wolf, A., Evans, M., Hicks, K. M., Thomas, K., & Howatson, G. (2020). Four weeks of augmented eccentric loading using a novel leg press device improved leg strength in well-trained athletes and professional sprint track cyclists. *PLoS ONE*, 15(7) (July), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236663>
 12. Hasson, C. J., Dugan, E. L., Doyle, T. L. A., Humphries, B., & Newton, R. U. (2004). Neuromechanical strategies employed to increase jump height during the initiation of the squat jump. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(4), 515–521. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.12.004>
 13. Jacob, WJ. Kraeme, CP., Jeffery S. Volek, Carl M. Maresh, M. J., & Newton, A. R. U. (2011). influence of muscle-tendon unit structure on rate of force development during the squat, countermovement, and drop jumps. School of exercise, biomedical and health sciences, 340–347.
 14. Kordi, M. Folland, J. Goodall, S. et al. (2020) Mechanical and morphological determinants of peak power output in elite cyclists. *Scand Journal of Medicine and Sciences of Sports*, 30(2):227-237.
 15. Luarte, C., González, M., & Aguayo, O. (2014). Evaluación de la fuerza de salto vertical en voleibol femenino en relación a la posición de juego. *Ciencias de la Actividad Física UCM*, 15(2), 43-52
 16. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and



- factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
17. Martinopoulou, K., Argeitaki, P., Paradisis, G., Katsikas, C., & Smirniotou, a. (2011). The Effects of Resisted Training Using Parachuteon Sprint Performance. *Biology of Exercise*, 7(1), 7–24. <https://doi.org/10.4127/jbe.2011.0040>
18. Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. (2006). Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5, 359–366.
19. McLean, B. D., & Parker, A. W. (1989). An anthropometric analysis of elite australian track cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 7(3), 247–255.<https://doi.org/10.1080/02640418908729845>
20. Meyer, A. Tumilty, S. Baxter, GD. (2009). Eccentric exercise protocols for chronic non insertional Achilles tendinopathy: how much is enough? *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, 19(5):60915
21. Milan, C., & Mackala, K. (2021). Differences between the elite and sub elite sprinters in kinematic and dynamic determinations of countermovement jump and drop jump. *Journal of strength and conditioning research*, 27(11), 3021–3027.
22. Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*, 26(6), 824–840. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.05.001>
23. Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a Plyometrics Intervention Program on Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(3), 295–301. <https://doi.org/10.1519/00124278-200008000-00009>
24. Robert, P., Cirer-Sastre, R., López-Laval, I., Matas-García, S., Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., & Corbi, F. (2020). Relación entre capacidad de salto y rendimiento en ciclismo de BMX. *Apunts: Educació Física i Esports*, 140, 37–43. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=s3h&AN=142525521&site=ehost-live>
25. Salvador Ramírez, D. A. (2019). Variables antropométricas como determinantes del rendimiento físico en ciclistas aficionados del equipo “Alma Team”, del Distrito Metropolitano de Quito.
26. Stadnyk, A. M. J., Impellizzeri, F. M., Stanley, J., Menaspà, P., & Slattery, K. M. (2022). Testing, Training, and Optimising Performance of Track Cyclists: A Systematic Mapping Review. *Sports Medicine*, 52(2), 391–401. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01565-z>
27. Tofari, P. J., Cormack, S. J., Ebert, T. R., Gardner, A. S., & Kemp, J. G. (2017). Comparison of ergometer- and track-based testing in junior track-sprint cyclists. Implications for talent identification and development. *Journal of Sports Sciences*, 35(19), 1947–1953. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1243795>
28. Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The Difference between Countermovement and Squat Jump Performances: A Review of Underlying Mechanisms with Practical Applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011–2020. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001913>
29. Viviescas, B. J. B., Mindiola, A. A. A., & Acuña, L. E. R. (2017). Relación entre el salto vertical y el rendimiento de la velocidad en jóvenes futbolistas. *E-motion: Revista de Educación, Motricidad e Investigación*, (9), 13-24.

