



Universidad de Granada
Facultad de Ciencias del Deporte

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

PROGRAMA DE DOCTORANDO EN BIOMEDICINA
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

**INFLUENCIA DE LAS PRESTACIONES NEUROMUSCULARES
EN EL RENDIMIENTO Y ENTRENAMIENTO DEL CORREDOR
DE RESISTENCIA**

Tesis Doctoral presentada por:

AITOR MARCOS BLANCO

Tesis Doctoral dirigida por:

Dr. FELIPE GARCÍA PINILLOS

Dr. ALEJANDRO PÉREZ CASTILLA

INFLUENCIA DE LAS PRESTACIONES NEUROMUSCULARES EN EL RENDIMIENTO Y ENTRENAMIENTO DEL CORREDOR DE RESISTENCIA

AITOR MARCOS BLANCO

Programa de Doctorado en Biomedicina

Línea de Investigación en Actividad Física y Deporte



DIRECTORES:

Dr. FELIPE GARCÍA PINILLOS

Dr. ALEJANDRO PÉREZ CASTILLA

Facultad de Ciencias del Deporte

Departamento de Educación Física y Deportiva

Universidad de Granada

Granada, 2025

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Aitor Marcos Blanco
ISBN: 978-84-1195-880-6
URI: <https://hdl.handle.net/10481/108077>

“El esfuerzo siempre merece la pena. Más allá del resultado final, aunque el resultado sea negativo, el esfuerzo siempre vale la pena. En el camino siempre habrás aprendido cosas y, sobre todo, cuando hayas terminado, vas a tener la satisfacción personal de haber hecho todo lo que ha estado en tus manos para que las cosas salieran de la mejor manera posible. Con lo cual, cuando eso es una realidad y consigues eso, el resultado final deja de ser tan importante”.

Rafael Nadal

A mis padres, por apoyarme en cada paso

Sois un auténtico ejemplo

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
LISTA DE PUBLICACIONES	10
RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Influencia de los factores neuromusculares sobre el rendimiento de la carrera de resistencia.	19
1.2. Impacto del entrenamiento de fuerza sobre las capacidades neuromusculares máximas.	22
1.3. Efecto agudo del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento de la carrera de resistencia posterior.	24
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	27
2.1. Objetivo general	27
2.2. Objetivos e hipótesis específicos	27
3. MATERIAL Y MÉTODO	29
4. RESULTADOS	53
5. DISCUSIÓN	74
6. CONCLUSIONES	81
7. LIMITACIONES	84
8. APLICACIONES PRÁCTICAS	86
9. PERSPECTIVAS DE FUTUROS ESTUDIOS	87
10. BIBLIOGRAFÍA	88
11. ANEXOS	102

AGRADECIMIENTOS

Antes de nada, quería dedicar unas palabras de agradecimiento a las personas que han sido de alguna forma partícipes del comienzo, desarrollo y final de esta Tesis Doctoral:

En primer lugar, a mis padres, porque son las personas más buenas y maravillosas de este mundo, **M^a Luisa Blanco Rodríguez** y **José María Marcos Castro**. Por empeñarse en que me matriculara en semejante locura. Gracias a los dos por transmitirme tantos valores, por ayudarme y guiarme en el camino. Sois un ejemplo de esfuerzo y sacrificio. Gracias por enseñarme a ser buena persona. Es un orgullo ver cómo os preocupáis y cuidáis de toda la familia. Sois mi vida, y esto es más vuestro que mío, me habéis apoyado de una manera increíble. Os quiero con todo mi corazón.

De manera muy especial, a mis abuelos, **José Marcos Marcos**, **M^a del Carmen Castro Serradilla**, **Manuel Ángel Blanco Nieto** y **Josefina Leonor Rodríguez Colomo**. Me siento muy afortunado. Por los valores de humildad y bondad que me habéis transmitido.

A la persona que me acompaña en el camino, **Rocío Díaz Bellido**. Llegaste en el momento más complicado y cuando la montaña se hacía muy cuesta arriba. No sabes lo agradecido que estoy. Por preocuparte tanto por mí, por cuidarme y apoyarme siempre. Porque la vida a tu lado es alegría y disfrute, junto con una sensación inmensa de tranquilidad y paz al llegar a casa. Seguimos construyendo juntos. Te quiero mi vida.

A mi familia, sin olvidarme de nadie, en especial a **Alejandro Blanco Rodríguez**. Por estar pendiente, cuidarme y aconsejarme. A mi hermano mayor, **Marco Antonio Blanco Rodríguez**. Porque te tengo presente todos los días de mi vida, ni te imaginas cuanto te echo de menos. Y, entre lágrimas, gracias por darme fuerzas para terminar esto. Te quiero hermano.

A mis amigos, en especial a **Jorge Mendoza**, **Nacho Barroso**, **Borja Galán**, **David Rubia** y **Cristina Carrasco**. Por cómo os preocupáis por mí. Porque estar a vuestro lado es sinónimo de risas y pasarlo bien.

A lo mejor que me ha dado esta Tesis Doctoral, **M^a Dolores Morenas Aguilar** (**“Loles”**). Por estar ahí en cada momento. Por cómo nos hemos apoyado el uno al otro. Por nuestros días enteros en la facultad, entrenos entre evaluaciones, ratitos de miradores y cervezas para terminar el día. Porque el que tiene magia no necesita trucos. Gracias por todo.

A mi tutor y director **Felipe García Pinillos**. Porque cogiste a un alumno para realizar un TFM y le has llevado a conseguir un Doctorado. Gracias por tu paciencia y por entenderme en cada momento. Por darme la oportunidad de realizar el proyecto acerca del ciclo menstrual y rendimiento deportivo. Porque nada más conocerme y saber que no conocía a nadie me dijiste “móntate en el coche” y me llevaste a visitar la ciudad y algún bar que otro. Te agradezco cada “regañina” que hemos tenido, por hacerme espabilar y crecer en el ámbito profesional. Muchas gracias por todo amigo.

A mi codirector **Alejandro Pérez Castilla**. Por la paciencia que has tenido conmigo. Porque te has implicado desde el principio en el desarrollo de la Tesis Doctoral. Por estar pendiente para resolverme cualquier duda en cuestión de minutos. Muchas gracias de verdad.

A mi compañero y doctor, **Santiago Alejo Ruiz Alias**. Por implicarte tanto en el desarrollo de los artículos de la Tesis Doctoral.

Con mucha ilusión, a **Iván Fernández Navarrete y Claudia Moreno Ortega**. Porque llegaron como alumnos de prácticas y se han convertido en mis amigos. Muchas gracias por vuestra implicación en cada una de las evaluaciones.

Por último, no quiero olvidarme de la pequeña figura que ha llegado a casa, **Noah**, de las mejores decisiones que hemos tomado hasta el momento. Nunca lo leerás, pero estamos aprendiendo mucho de ti, déjanos guiarte en el camino, serás muy feliz.

¡¡ MUCHAS GRACIAS!!

“Unos me llaman chaval y otros me dicen caballero”. Esto es por y para vosotros **Marco Antonio Blanco Rodríguez y Manuel Ángel Blanco Nieto**. Siempre conmigo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incremento del número de participantes en el año 2023 al 2024 en las carreras de resistencia más populares y relevantes a nivel nacional.....	13
Figura 2. Ejemplo de perfil carga-velocidad a través del método de dos puntos.....	23
Figura 3. Síntesis del diseño experimental.....	35
Figura 4. Sujeto realizando la prueba de salto en caída. Fases del salto y resultados (tiempo de contacto y tiempo de vuelo).....	37
Figura 5. Evaluación del perfil fuerza-velocidad horizontal. Sujeto realizando la prueba de esprint.....	39
Figura 6. Evaluación del perfil carga-velocidad. Sujeto realizando el ejercicio de sentadilla trasera con la carga correspondiente a $0.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	40
Figura 7. Colocación del analizador metabólico portátil y desarrollo de la prueba.....	41
Figura 8. Resumen del diseño experimental.....	50
Figura 9. Cambios en el perfil de carga-velocidad tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) por separado para hombres (círculos) y mujeres (triángulos).....	64
Figura 10. Cambios individuales en la intersección del eje de carga (panel superior), intersección del eje de velocidad (panel central) y área bajo la línea de relación carga-velocidad (L-V) (panel inferior) tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) en hombres (círculos negros) y mujeres (círculos blancos).....	67
Figura 11. Comparación de la velocidad aeróbica máxima entre protocolos.....	71

Todas las figuras que se encuentran a lo largo de la Tesis Doctoral son de elaboración propia.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen metodología.....	30
Tabla 2. Comparación entre sexos en la condición cardiovascular, el rendimiento en carrera y las manifestaciones de fuerza.....	54
Tabla 3. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el tirón isométrico a media altura del muslo.....	55
Tabla 4. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el salto en caída.....	56
Tabla 5. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el perfil horizontal y vertical de fuerza/carga-velocidad.....	59
Tabla 6. Comparación de las variables de rendimiento entre diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad y el sexo.....	61
Tabla 7. Fiabilidad entre días de las variables de relación carga-velocidad obtenidas antes de los protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.....	62
Tabla 8. Comparación de las variables de relación carga-velocidad obtenidas antes y después de los protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad para cada sexo.....	65
Tabla 9. Comparación del número de repeticiones, la velocidad más rápida y la velocidad media entre protocolos, números de series y sexos.....	69
Tabla 10. Resumen resultados.....	72

Todas las tablas que se encuentran a lo largo de la Tesis Doctoral son de elaboración propia.

LISTA DE PUBLICACIONES

- Ruiz-Alias, S. A., **Marcos-Blanco, A.**, Fernández-Navarrete, I., García-Pinillos, F., & Pérez-Castilla, A. (2025). Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners. *Journal of strength and conditioning research*, 39(1), 24-32.
- Pérez-Castilla, A., Ruiz-Alias, S. A., Ramirez-Campillo, R., García-Pinillos, F., & **Marcos-Blanco, A.** Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners, pendiente de publicación.
- Pérez-Castilla, A., Ruiz-Alias, S. A., Ramirez-Campillo, R., Miras-Moreno, S., García-Pinillos, F., & **Marcos-Blanco, A.** (2024). Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance. *Applied Sciences*, 14(7), 2736.

RESUMEN

Correr ha sido una parte esencial de la historia humana, desde una estrategia de caza y mecanismo de supervivencia, hasta convertirse en uno de los deportes más practicados en la actualidad. Sin embargo, a pesar de su creciente popularidad y su relación directa con la mejora de la salud, aproximadamente el 56% de los corredores recreativos sufren alguna lesión relacionada con esta práctica cada año.

En este sentido, se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza es un medio efectivo para reducir esta incidencia lesional y, a su vez, optimizar el rendimiento de los corredores de resistencia. En esta línea, el papel del sistema neuromuscular es cada vez más relevante (en concreto, fuerza muscular, ciclo de estiramiento-acortamiento y rigidez músculo-tendinosa), y sus distintas formas de entrenamiento (por ejemplo, fuerza máxima, entrenamiento pliométrico) han mostrado ser esenciales en los programas de entrenamiento del corredor de resistencia.

De este contexto nace la presente Tesis Doctoral, con el objetivo de examinar la influencia de las prestaciones neuromusculares en el rendimiento del corredor de resistencia y optimizar su gestión en la preparación física del corredor.

Para satisfacer el objetivo general de la Tesis Doctoral se establecieron tres objetivos específicos que finalmente se tradujeron en tres artículos científicos: I) Examinar la relación entre las diversas manifestaciones de fuerza y el rendimiento en carrera de resistencia a diferentes intensidades en corredores recreativos; II) Evaluar la fiabilidad y los cambios agudos en el perfil carga-velocidad tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basados en la velocidad en corredores recreativos; y III) Analizar el efecto agudo del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad sobre el rendimiento de la carrera de resistencia posterior: relevancia del volumen y la intensidad.

Los principales resultados de la Tesis Doctoral fueron: I) El sistema neuromuscular aumentó de manera progresiva su implicación en la determinación del rendimiento en carrera de resistencia a medida que aumentaba la intensidad de carrera; II) Se ha observado una alta fiabilidad de las variables derivadas de la relación carga-velocidad obtenidas en condiciones de campo para evaluar las capacidades mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo a lo largo de sesiones sucesivas; II) Aunque esta relación carga-velocidad es fiable y sensible en protocolos de entrenamiento de fuerza basados en

la velocidad con un alto número de repeticiones, su uso para detectar cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas del tren inferior se caracteriza por una elevada variabilidad en las respuestas individuales; y III) El rendimiento en carrera de resistencia se ve perjudicado cuando va precedido de un entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, especialmente si las series de entrenamiento se realizan con una carga relativa baja (60% de una repetición máxima) y un umbral de pérdida de velocidad alto (30%).

1. INTRODUCCIÓN.

Correr ha sido una parte esencial de la historia humana, comenzando como un mecanismo de defensa frente a depredadores y una estrategia vital para cazar animales, es decir, como capacidad de supervivencia. Con el transcurso de los años, esta habilidad para correr evolucionó más allá de su función utilitaria, consolidándose como una forma de competición. Especialmente en la antigua Grecia, donde esta práctica se formalizó y se integró en los primeros Juegos Olímpicos, celebrados en 776 a.C. en Olimpia, siendo la carrera a pie (conocida como stadion) la principal disciplina. Desde entonces, la carrera ha continuado su desarrollo, pasando de ser una actividad deportiva de élite en el contexto olímpico, a convertirse en uno de los deportes más populares y practicados en la actualidad (García-Pinillos et al., 2020; Nikolaidis et al., 2021; Raghunandan et al., 2021).

En España, el número de participantes en carreras de maratón (42.195 metros), media maratón (21.095 metros) y 10 kilómetros (10.000 metros) muestra un incremento cada año (García-Pinillos et al., 2020), como muestra la **Figura 1**:

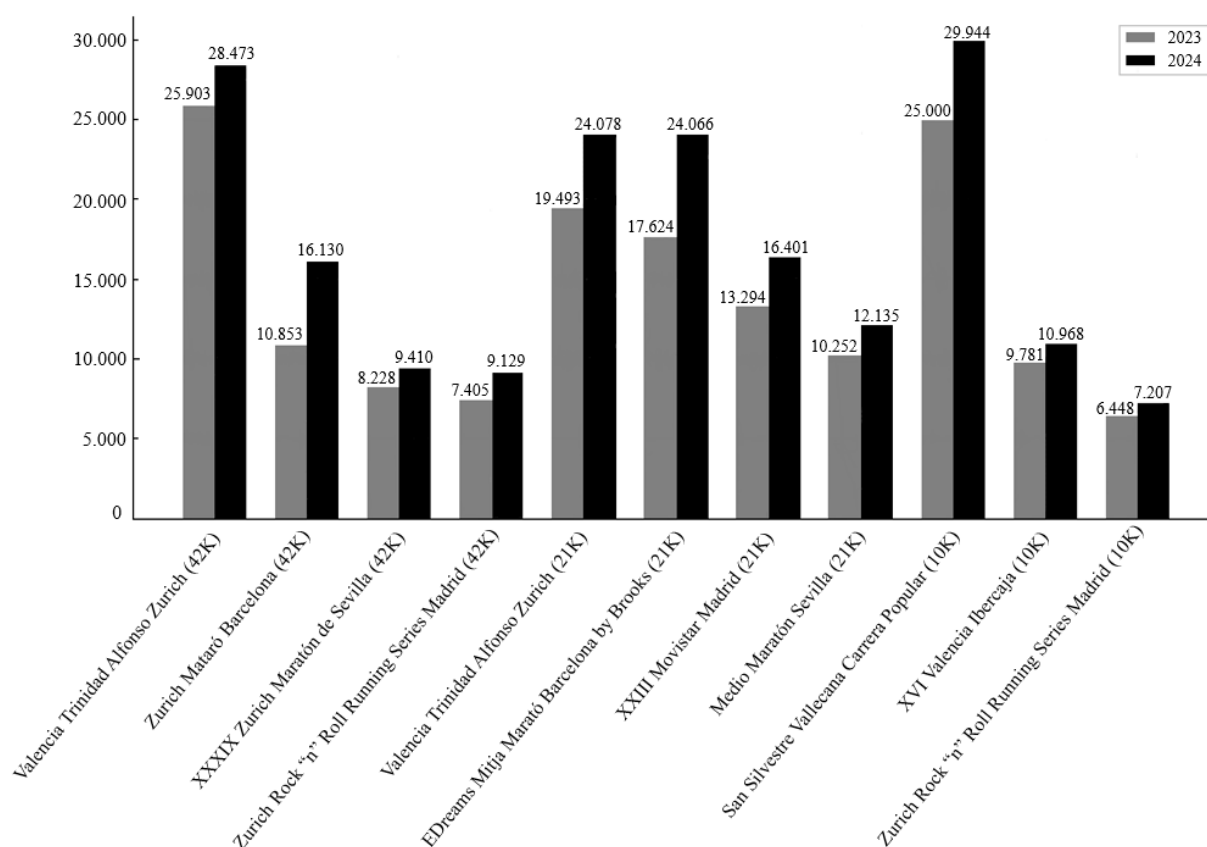


Figura 1. Incremento del número de participantes en el año 2023 al 2024 en las carreras de resistencia más populares y relevantes a nivel nacional.

En resumen, un total de **187.941** corredores/as han participado en estas pruebas de resistencia, sin considerar el resto de eventos realizados a lo largo del año en todo el territorio nacional. Estos datos son consistentes con los resultados de la encuesta publicada por el Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) en 2023, la cual indica que el 13.8 % de la población española practica la carrera de resistencia de manera habitual. Este fenómeno no se limita únicamente a España, ya que estudios internacionales reflejan una tendencia global hacia la adopción de esta actividad deportiva. Por ejemplo, en los Estados Unidos, más de 28 millones de personas corren semanalmente. En Dinamarca y los Países Bajos, entre el 12% y el 25% de la población lo practica de manera habitual, lo que sugiere un crecimiento significativo del interés por el running a nivel mundial, en ambos sexos y grupos de edad (García-Pinillos et al., 2020; Nikolaidis et al., 2021; Nikolaidis & Knechtle, 2023; Raghunandan et al., 2021; Schubert et al., 2014; Videbæk et al., 2015).

En este sentido, la carrera, como disciplina deportiva, destaca por ser una de las actividades físicas más accesibles para la población general, ya que no requiere equipamiento costoso ni instalaciones específicas, permitiendo su práctica en entornos urbanos y naturales. Además, los beneficios del running no se limitan al acondicionamiento físico, sino que también favorecen casi todas las estructuras y funciones biológicas del cuerpo humano. Esto incluye mejoras en el sistema cardiopulmonar y efectos preventivos importantes frente a diversas enfermedades, como la diabetes, el cáncer y los problemas cardiovasculares. En el ámbito mental, esta práctica también tiene implicaciones positivas, principalmente sobre la depresión y trastornos de ansiedad (Oswald et al., 2020; Podvigina et al., 2022; Predel, 2014).

A pesar de su creciente popularidad y su relación directa con la mejora de la salud, la práctica del running no está exento de riesgos, ya que se estima que aproximadamente el 56% de los corredores recreativos, e incluso hasta el 90% de aquellos que se entrenan para un maratón, sufren alguna lesión relacionada con esta práctica cada año (Schubert et al., 2014). Las tasas de lesiones asociadas con esta práctica oscilan entre 2.5 y 33.0 por cada 1.000 horas de actividad, siendo atribuidas principalmente al sobreuso (esfuerzos repetidos) y a desequilibrios musculares. Además, esta incidencia aumenta con la distancia, ya que se ha observado que los corredores de maratón presentan un riesgo tres veces mayor de lesión en comparación con los corredores de 10 km. Entre estas lesiones,

se estima que entre el 19.4% y el 79.3% afectan a las extremidades inferiores, de las cuales aproximadamente el 70% se localizan en la rodilla o en las regiones situadas por debajo de esta (Besomi et al., 2019; Kakouris et al., 2021; Peterson et al., 2022; Raghunandan et al., 2021; Videbæk et al., 2015;).

En relación con esto, se ha demostrado que la implementación de programas de ejercicio físico estructurado es una estrategia altamente efectiva para disminuir tanto la incidencia como este riesgo de lesión en corredores (Lauersen et al., 2014). En concreto, el entrenamiento de fuerza destaca como la herramienta más eficaz, superando métodos como el estiramiento, el entrenamiento de propiocepción y las estrategias basadas en la exposición múltiple. Estos autores indicaron que las intervenciones basadas en el entrenamiento de fuerza podrían reducir las lesiones por sobreuso en casi un 50%. Por lo tanto, la integración del entrenamiento de fuerza en los planes de preparación de los corredores de resistencia representa un enfoque preventivo sólido, pudiendo considerarse como un medio para reducir la incidencia de lesión (García-Pinillos et al., 2020; Lauersen et al., 2014).

Sin embargo, el entrenamiento de fuerza no solo contribuye a disminuir la probabilidad de lesión, sino que también provoca un incremento en el rendimiento del corredor de resistencia (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Beattie et al., 2017). En este sentido, se ha demostrado que las adaptaciones neuromusculares resultantes del entrenamiento de fuerza, como la rigidez musculotendinosa, el reclutamiento y sincronización de las unidades motoras, coordinación muscular e inhibición neural, tienen el potencial de optimizar el rendimiento de los corredores al mejorar su economía de carrera (Beattie et al., 2014; Beattie et al., 2017; Paavolainen et al., 1999; Paavolainen et al., 2000). Esta se define como el costo de oxígeno o energía para mantener una velocidad de carrera submáxima (Blagrove et al., 2018). En este contexto, se ha demostrado que los atletas con una buena economía de carrera utilizan menos energía y, por lo tanto, menos oxígeno que aquellos con una mala economía de carrera a la misma velocidad (Saunders et al., 2004).

Así pues, en vista de lo anterior, el rendimiento del corredor de resistencia podría mejorarse mediante adaptaciones centrales, pero también mediante la capacidad de los atletas de producir un mayor trabajo mecánico para un coste energético determinado (Blagrove et al., 2018; Ramírez-Campillo et al., 2021). En esta línea, el papel de los

factores o prestaciones neuromusculares (en concreto, ciclo de estiramiento-acortamiento, rigidez músculo-tendinosa, fuerza muscular) es cada vez más relevante. Sus distintas formas de entrenamiento (por ejemplo, fuerza máxima, entrenamiento pliométrico, entrenamiento combinado) han mostrado ser esenciales en los programas de entrenamiento de los corredores de resistencia (Llanos-Lagos et al., 2024; Paavolainen et al., 1999). Sin embargo, se necesitan más estudios para concretar la importancia de las prestaciones neuromusculares en el rendimiento de corredor de resistencia. De este contexto nace el primer tópico de la Tesis Doctoral: **“Influencia de los factores neuromusculares sobre el rendimiento de la carrera de resistencia”**.

En línea con lo anterior, donde se destacó la importancia del sistema neuromuscular, poder evaluar o medir estas prestaciones se convierte en un aspecto fundamental para comprender plenamente los puntos fuertes y débiles de los corredores. Para ello, la evaluación del perfil Fuerza-Velocidad (F-V) o Carga-Velocidad (del término anglosajón Load-Velocity [L-V]) se ha convertido en una práctica cada vez más habitual en la carrera, ya que integra diversas cualidades de fuerza del sistema neuromuscular. Por ejemplo, Nikolaidis & Knechtle (2020) y Sabater Pastor et al. (2023) determinaron la fuerza máxima teórica (intersección del eje de fuerza [F_0]), la velocidad máxima teórica (intersección del eje de velocidad [v_0]) y la potencia máxima ($P_{m\acute{a}x} = F_0 \times v_0/4$) de los corredores de resistencia a través del pedaleo en esfuerzos máximos de aproximadamente 8 segundos, observando que el rendimiento en maratón se correlaciona negativamente con F_0 y $P_{m\acute{a}x}$ (Nikolaidis & Knechtle, 2020) y que estos parámetros permiten diferenciar a corredores de diferentes disciplinas (es decir, corredores de trail de élite que muestran un perfil de F-V más orientado a la fuerza en comparación con aquellos especializados en ruta).

De forma paralela, esta relación F-V puede emplearse para evaluar los efectos de la fatiga sobre las capacidades neuromusculares máximas (es decir, F_0 , v_0 y $P_{m\acute{a}x}$) (García-Ramos et al., 2018; Li et al., 2024). En este sentido, García-Ramos et al. (2018) informaron de una reducción de la $P_{m\acute{a}x}$ debida a un deterioro de la v_0 tras un protocolo de press de banca que conducía al fallo muscular con el 60% de una repetición máxima (1RM) y de la F_0 tras un protocolo de press de banca que no conducía al fallo muscular con el 80% de la 1RM. Sin embargo, este perfil F-V no está exento de limitaciones, ya que en ejercicios de fuerza realizados contra la gravedad (por ejemplo, sentadilla con

salto), la larga extrapolación del último punto experimental a v_0 puede comprometer la fiabilidad y precisión de los parámetros derivados de la relación F-V (es decir, v_0 y $P_{máx}$) (Pérez-Castilla et al., 2021).

Con el fin de superar esta limitación, algunos autores han determinado recientemente la relación L-V en múltiples ejercicios de entrenamiento de fuerza (Miras-Moreno et al., 2023; Pérez-Castilla et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2022; Pérez-Castilla et al., 2023). Este novedoso procedimiento sólo requiere la aplicación de un modelo de regresión simple a los datos de velocidad registrados en dos o más condiciones de carga para determinar la intersección carga-eje (es decir, carga a velocidad cero [L_0]), la intersección velocidad-eje (es decir, v_0) y el área bajo la línea de relación L-V (es decir, $A_{line} = L_0 \times v_0/2$) (Pérez-Castilla et al., 2021). Además, desde un punto de vista práctico, las variables de la relación L-V pueden obtenerse más rápidamente a partir del "método de dos puntos" (es decir, sólo se utilizan dos cargas para el modelaje de la relación L-V) (Miras-Moreno et al., 2023; Pérez-Castilla et al., 2023). De este contexto nace el segundo tópico de la Tesis Doctoral: **“Impacto del entrenamiento de fuerza sobre las capacidades neuromusculares máximas”**.

En concordancia con lo previamente expuesto, donde se destacó, por un lado, la importancia de las prestaciones neuromusculares en el rendimiento del corredor y, por otro, cómo evaluar o medir dichas prestaciones, resulta fundamental explorar su aplicabilidad en condiciones de campo, es decir, cómo aplicarlas. En este contexto, se ha informado de un aumento en el rendimiento en carrera cuando se incorporan simultáneamente entrenamientos de fuerza y de resistencia dentro del mismo programa (es decir, “*entrenamiento concurrente*”) (Aagaard & Andersen, 2010; Alcaraz-Ibañez & Rodríguez-Pérez, 2018; Beattie et al., 2014; Jung, 2003). Este tipo de programas de entrenamiento provocan adaptaciones que explican cómo el entrenamiento de fuerza contribuye a mejorar el rendimiento en carrera. Entre estas adaptaciones encontramos la optimización de la función neural, un aumento en la proporción de fibras tipo IIA y un aumento de la rigidez de los tendones musculares de las extremidades inferiores (Aagaard & Andersen, 2010; Alcaraz-Ibañez & Rodríguez-Pérez, 2018; Barrie, 2020; Paavolainen et al., 1999; Rønnestad & Mujika, 2013).

Sin embargo, si ciertas variables que configuran el entrenamiento de fuerza, como la intensidad y el volumen, no se prescriben adecuadamente en una sesión de

entrenamiento concurrente, la fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza previo puede perjudicar de forma aguda la calidad de las sesiones de entrenamiento de resistencia posteriores e inducir un efecto de interferencia en las adaptaciones cardiorrespiratorias a largo plazo, en un fenómeno denominado “*suboptimización del rendimiento de resistencia inducida por el entrenamiento de fuerza*” (del término anglosajón “*resistance training-induced suboptimization on endurance performance*” [RT-SEP]) (Doma et al., 2017; Doma et al., 2019).

En esta línea, con el objetivo de reducir las posibilidades del fenómeno RT-SEP (Doma et al., 2019), existen diferentes metodologías y herramientas que nos permiten controlar la fatiga muscular en tiempo real (Pérez-Castilla et., 2019). En este sentido, encontramos el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (del término anglosajón “*velocity-based resistance training*” [VBT]), que nos permite autorregular la intensidad y el volumen de entrenamiento en función de la preparación diaria de los deportistas (es decir, individualización) (Nevin, 2019; Weakley et al., 2021). De este contexto nace el tercer tópico de la Tesis Doctoral: **“Efecto agudo del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento de la carrera de resistencia posterior”**.

A continuación, se presenta una breve introducción para cada uno de los tres tópicos que componen la presente Tesis Doctoral:

1.1. Influencia de los factores neuromusculares sobre el rendimiento de la carrera de resistencia.

La evaluación del componente fisiológico del rendimiento en carreras de resistencia (por ejemplo, economía de carrera, umbral de lactato, consumo máximo de oxígeno [$VO_{2m\acute{a}x}$]) es una práctica bien consolidada (Barnes & Kilding, 2015; Binder et al., 2008; Yoon et al., 2007). Aunque la varianza en el rendimiento explicada por estos factores depende de la distancia (de Souza et al., 2011), su papel es sustancial tanto en pruebas de larga distancia como de media distancia (Ingham et al., 2008; Rabadán et al., 2011).

En el caso de la economía de carrera, se determina midiendo el consumo de oxígeno en estado estable y la relación de intercambio respiratorio. Teniendo en cuenta la masa corporal, los atletas con una buena economía de carrera utilizan menos energía y, por lo tanto, menos oxígeno que aquellos con una mala economía de carrera a la misma velocidad (Saunders et al., 2004). Mientras que los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ varían poco en grupos homogéneos de corredores de larga distancia, la economía de carrera muestra un alto grado de variabilidad interindividual (Blagrove et al., 2018; Conley & Krahenbuhl, 1980; Morgan & Craib, 1992), estando respaldada por una variedad de factores antropométricos (p. ej., peso corporal, morfología de las extremidades, longitud de tendones), fisiológicos (p. ej., $VO_{2m\acute{a}x}$, factores metabólicos), biomecánicos (p. ej., factores mecánicos, energía elástica almacenada), medioambientales (p. ej., altitud, calor) y neuromusculares (p. ej., entrenamiento de fuerza) (Blagrove et al., 2018; Saunders et al., 2004). En este sentido, no es de extrañar que la mayoría de las investigaciones sobre la mejora del rendimiento en corredores se centren en la economía de carrera, siendo el indicador clave que puede generar un cambio significativo (Barrie, 2020) y el mejor predictor del rendimiento para dos atletas entrenados que tienen valores similares de $VO_{2m\acute{a}x}$ (Saunders et al., 2004).

Las carreras de larga y media distancia suponen un reto metabólico y mecánico. Aunque la mejora del rendimiento en resistencia se ha centrado en mejorar las vías de producción de ATP (Newsholme, 1986), el papel del sistema neuromuscular es cada vez

más importante. Sus diversas formas de entrenamiento (por ejemplo, entrenamiento de fuerza máxima, entrenamiento pliométrico, entrenamiento combinado) han demostrado ser indispensables en el plan de entrenamiento del atleta (Llanos-Lagos et al., 2024; Paavolainen et al., 1999). Así pues, las pruebas de rendimiento en carreras de resistencia requieren un análisis multifactorial que ponga a prueba todas las capacidades para comprender plenamente los puntos fuertes y débiles de los corredores.

Existe una gran variedad de pruebas para medir las capacidades neuromusculares (por ejemplo, sentadilla con salto, salto con contramovimiento [CMJ], salto horizontal, salto en caída, esprint, extensión de rodilla isocinética, tirón isométrico a media altura del muslo, 1RM) (de Souza et al., 2011; Houmard et al., 1991; Lum et al., 2020; Paavolainen et al., 1999), todas ellas informan de variables como resultado de la producción de fuerza durante un tiempo determinado (James et al., 2023). Sin embargo, su relación con el rendimiento en carrera (Cole et al., 2006) o su sensibilidad para ilustrar mejoras en el rendimiento en carrera (Beattie et al., 2017; Saunders et al., 2006) han sido rechazadas en diferentes ocasiones. Estos resultados plantean la necesidad de analizar las características de las distintas pruebas disponibles para comprender estas correlaciones discretas y explorar otras opciones. En este sentido, James et al. (2023) propusieron clasificar las demandas de fuerza-tiempo en 5 categorías de fuerza (es decir, fuerza isométrica máxima, fuerza explosiva, fuerza reactiva, fuerza dinámica rápida y pesada). Aunque estas cualidades presentan un punto en común, cada una de ellas representa una capacidad única del sistema neuromuscular, cuyo papel en el rendimiento en carrera aún debe explorarse.

Se han establecido diferentes procedimientos de ensayo para evaluar estas manifestaciones de fuerza en carrera. Por ejemplo, el tirón isométrico a media altura del muslo (del término anglosajón "*Isometric Mid-Thigh Pull*") destaca por ser una tarea no fatigante y que evalúa la capacidad de los corredores para generar una fuerza de alta tasa (tasa de desarrollo de fuerza) y su máxima expresión (es decir, fuerza máxima o fuerza pico) en una posición que replica el patrón de triple extensión de la carrera (Comfort et al., 2019). Sin embargo, su relación con el rendimiento en carreras de resistencia apenas se ha analizado. Lum et al. (2020) ha sido el único estudio que ha explorado esta relación, informando de correlaciones significativas entre el rendimiento en contrarreloj de 2,4 km y las medidas de fuerza pico y tasa de desarrollo de fuerza en corredores recreativos.

Asimismo, la prueba de salto en caída (del término anglosajón “*Drop Jump*”) es una práctica muy extendida debido a que las métricas necesarias para determinar el denominado índice de fuerza reactiva (es decir, la relación entre el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto con el suelo) pueden controlarse hoy en día mediante dispositivos asequibles (por ejemplo, plataforma, smartphone) (Pueo et al., 2020; Stanton et al., 2015). Unas puntuaciones en el índice de fuerza reactiva más altas pueden revelar la capacidad del atleta para generar fuerzas no tensoras a través de sus estructuras pasivas, lo que sugiere una economía de carrera superior y, en consecuencia, un mayor rendimiento de resistencia. En este sentido, Li et al. (2021) hallaron correlaciones de moderadas a grandes entre la economía de carrera y el índice de fuerza reactiva en corredores de fondo bien entrenados, con relaciones más fuertes a velocidades más altas, lo que subraya la importancia de explorar la relación del índice de fuerza reactiva con el rendimiento en diferentes distancias e intensidades.

La evaluación del perfil F-V o L-V también es una práctica cada vez más habitual en la carrera, ya que integra diversas cualidades de fuerza del sistema neuromuscular. Por ejemplo, Nikolaidis & Knechtle (2020) y Sabater Pastor et al. (2023) determinaron F_0 , v_0 y $P_{máx}$ de los corredores de resistencia a través del pedaleo en esfuerzos máximos de aproximadamente 8 segundos, observando que el rendimiento en maratón se correlaciona negativamente con F_0 y $P_{máx}$ (Nikolaidis & Knechtle, 2020) y que estos parámetros permiten diferenciar a corredores de diferentes disciplinas (es decir, corredores de trail de élite que muestran un perfil de F-V más orientado a la fuerza en comparación con aquellos especializados en ruta). Dentro de la variedad de pruebas que permiten la determinación de estos parámetros, aquellos ejercicios que contemplan el ciclo estiramiento-acortamiento como el CMJ (Pérez-Castilla et al., 2022; Pérez-Castilla et al., 2023) o el esprint de carrera (Romero-Franco et al., 2017; Samozino et al., 2016) pueden ser más específicos que el ejercicio de ergometría cíclica utilizado en estudios previos, cuya relación con el rendimiento de resistencia requiere ser explorada aún.

1.2. Impacto del entrenamiento de fuerza sobre las capacidades neuromusculares máximas.

La relación F-V puede evaluar los efectos de la fatiga sobre las capacidades neuromusculares máximas (García-Ramos et al., 2018; Li et al., 2024). Este perfil se compone de tres parámetros: F_0 (denota la capacidad máxima de fuerza) v_0 (denota la capacidad máxima de velocidad) y P_0 (potencia máxima, también mencionada como $P_{máx}$) (García-Ramos et al., 2018). García-Ramos et al. (2018) informaron de una reducción de la $P_{máx}$ debida a un deterioro de la v_0 tras un protocolo de press de banca que conducía al fallo con el 60% de 1RM y de la F_0 tras un protocolo de press de banca que no conducía al fallo con el 80% de 1RM. Li et al. (2024) también observaron una disminución de la $P_{máx}$ debido a la incapacidad del músculo para desarrollar v_0 o F_0 tras un protocolo de sentadilla tradicional con carga pesada (cinco repeticiones al 80% de 1RM) o balística con carga ligera (cinco repeticiones al 30% de 1RM), respectivamente. Sin embargo, el perfil F-V no está exento de limitaciones, ya que en ejercicios de fuerza realizados contra la gravedad (p. ej., lanzamiento de press de banca o sentadilla con salto), la larga extrapolación del último punto experimental a v_0 puede comprometer la fiabilidad y precisión de los parámetros derivados de la relación F-V (es decir, v_0 y $P_{máx}$) (Pérez-Castilla et al., 2021).

Para superar esta limitación, algunos autores han determinado recientemente la relación L-V en múltiples ejercicios de entrenamiento de fuerza (Miras-Moreno et al., 2023; Pérez-Castilla et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2022; Pérez-Castilla et al., 2023). Este novedoso procedimiento sólo requiere la aplicación de un modelo de regresión simple a los datos de velocidad registrados en dos o más condiciones de carga para determinar la intersección carga-eje (es decir, L_0), la intersección velocidad-eje (es decir, v_0) y el área bajo la línea de relación L-V (es decir, $A_{line} = L_0 \times v_0/2$) (Pérez-Castilla et al., 2021). Investigaciones anteriores han confirmado la alta fiabilidad, sensibilidad y validez concurrente de L_0 , v_0 y A_{line} con respecto a las pruebas tradicionales utilizadas habitualmente para evaluar las máximas capacidades neuromusculares de producir fuerza, velocidad y potencia (Pérez-Castilla et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2022; Quidel-Catrilebún et al., 2024). Además, desde un punto de vista práctico, las variables de la relación L-V pueden obtenerse más rápidamente a partir del "método de dos puntos" (es decir, sólo se utilizan dos cargas para modelizar la relación L-V) (Miras-Moreno et al.,

2023; Pérez-Castilla et al., 2023). Aplicando este sencillo procedimiento en el ejercicio de remo en banco prono, un reciente estudio (Quidel-Catrilelbún et al., 2024) ha encontrado una reducción significativa en L_0 y A_{line} después de diferentes protocolos de VBT (60% 1RM y 80% 1RM combinado con 10% y 30% de pérdida de velocidad en la serie) seguido de una prueba de contrarreloj de 2.000 metros en remoergómetro con remeros de competición. Por lo tanto, sería de especial interés para los practicantes y entrenadores confirmar estos resultados utilizando ejercicios de entrenamiento de fuerza de las extremidades inferiores en otros deportes cíclicos, como la carrera. También sería pertinente confirmar la fiabilidad entre sesiones del método de los dos puntos obtenida en condiciones de campo, ya que hasta la fecha sólo se ha realizado un estudio (Miras-Moreno et al., 2023) (en el ejercicio de remo en banco prono en máquina Smith).

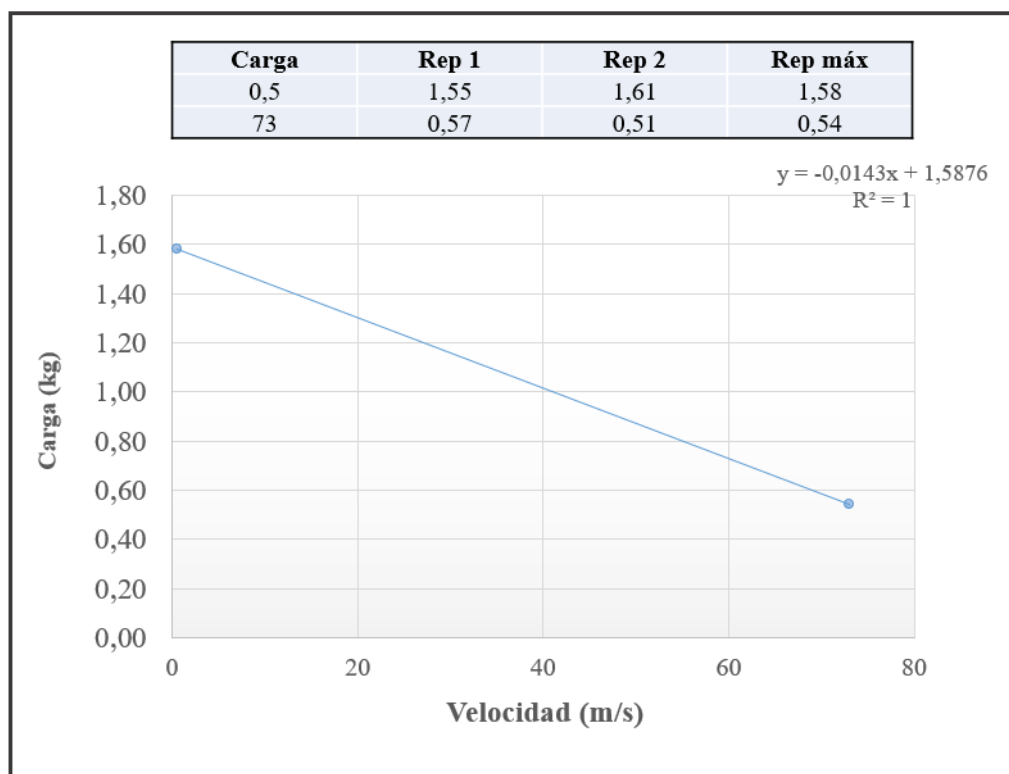


Figura 2. Ejemplo de perfil carga-velocidad a través del método de dos puntos.

Otro aspecto relevante a explorar relacionado con el perfil L-V es su posible interacción con el sexo de los participantes. Varias capacidades físicas a menudo difieren entre hombres y mujeres (Besson et al., 2022; Nuzzo, 2023). Por ejemplo, los hombres

son más susceptibles a una pérdida aguda de la producción de fuerza que las mujeres, pero estas diferencias relacionadas con el sexo se redujeron después de un programa de VBT de ocho semanas con una pérdida de velocidad del 20% o 40% (Walker et al., 2022). Además, aunque hombres y mujeres lograron ganancias similares en fuerza y potencia tras el VBT, las mujeres que entrenaron con una pérdida de velocidad del 40% tendieron a beneficiarse más en ganancias de fuerza y potencia en la parte superior del cuerpo que aquellas que entrenaron con una pérdida del 20% de velocidad (Sabater Pastor et al., 2023). Estos hallazgos sugieren que las mujeres tienen una menor fatigabilidad muscular que los hombres. Por lo tanto, los cambios en el perfil L-V después de diferentes protocolos de VBT pueden depender del sexo del participante.

1.3. Efecto agudo del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento de la carrera de resistencia posterior.

El rendimiento en carrera depende de la compleja interacción de varios factores, especialmente fisiológicos, así como biomecánicos y psicológicos (Beattie et al., 2014; Blagrove et al., 2018). Desde un punto de vista fisiológico, está bien documentado que el umbral ventilatorio/láctico, el $VO_{2\text{máx}}$ y la economía de carrera son sólidos indicadores del rendimiento, especialmente cuando se combinan estos últimos y determinan la velocidad aeróbica máxima (VAM) (Blagrove et al., 2018; Rønnestad & Mujika, 2014).

Para situarnos en contexto, el $VO_{2\text{máx}}$ puede definirse como la tasa más alta a la cual el cuerpo puede absorber y utilizar oxígeno durante un ejercicio intenso, es decir, es la “carta” más importante en el rendimiento en carrera, ya que determina el límite superior del metabolismo aeróbico (Bassett & Howley, 2000). Sin embargo, nos podemos encontrar con que dos atletas entrenados tienen los mismos valores de $VO_{2\text{máx}}$ (Bassett, 1997). En este caso, variables como la economía de carrera o la acumulación de lactato en sangre y la intensidad a la que se produce (es decir, umbral de lactato) (Faude et al., 2009), comienzan a tener un papel relevante (Blagrove et al., 2018; Kipp et al., 2019; Lanferdini et al., 2020).

Este rendimiento en carrera, por lo tanto, podría mejorarse mediante adaptaciones centrales, pero también mediante la capacidad de los atletas de producir más trabajo mecánico para un coste energético determinado (Blagrove et al., 2018; Ramírez-Campillo

et al., 2021). Para ello, se ha informado de un aumento en el rendimiento en carrera cuando se incorporan programas de entrenamiento concurrente (Aagaard & Andersen, 2010; Alcaraz-Ibañez & Rodríguez-Pérez, 2018; Beattie et al., 2014; Jung, 2003), provocando una serie de adaptaciones que explican cómo el entrenamiento de fuerza mejora el rendimiento en carrera, entre las que destacan: i) una mejora de la función neuronal, aumentos en el área de la sección transversal del músculo, la fuerza máxima y la tasa de desarrollo de fuerza; ii) un aumento en la proporción de fibras tipo IIA; y iii) un aumento en la rigidez de los tendones musculares en las extremidades inferiores, por ejemplo, en el tendón de Aquiles (Aagaard & Andersen, 2010; Alcaraz-Ibañez & Rodríguez-Pérez, 2018; Barrie, 2020; Paavolainen et al., 1999; Rønnestad & Mujika, 2013). Sin embargo, si ciertas variables que configuran el entrenamiento de fuerza, como la intensidad y el volumen, no se prescriben adecuadamente en una sesión de entrenamiento concurrente, la fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza previo puede perjudicar de forma aguda la calidad de las sesiones de entrenamiento de resistencia posteriores e inducir un efecto de interferencia en las adaptaciones cardiorrespiratorias a largo plazo, es decir, RT-SEP (Doma et al., 2017; Doma et al., 2019).

Con el objetivo de reducir las posibilidades de RT-SEP (Doma et al., 2019), existen diferentes metodologías y herramientas que nos permiten controlar la fatiga muscular en tiempo real (Pérez-Castilla et al., 2019). En esta línea, encontramos el VBT, que nos permite autorregular la intensidad y el volumen de entrenamiento en función de la preparación de los deportistas (es decir, individualización) (Nevin, 2019; Weakley et al., 2021). Por ejemplo, utilizando VBT, Nájera-Ferrer et al. (2021) descubrieron que, en comparación con una magnitud moderada de pérdida de velocidad (20%) durante el entrenamiento de fuerza (tres series de sentadilla completa al 60% de 1RM), una pérdida de velocidad alta (40%) provocaba un mayor estrés metabólico y mecánico (es decir, mayor lactato en sangre, deterioro del salto vertical y de la velocidad de sentadilla), así como un deterioro del rendimiento en carrera (es decir, incapacidad para correr 10 min al 90% de VAM). Del mismo modo, Sánchez-Moreno et al. (2021) observaron un mayor rendimiento en carrera (es decir, VAM) tras un programa de entrenamiento concurrente de ocho semanas con una pérdida de velocidad moderada en lugar de alta (15% > 30%) en los entrenamientos de fuerza. Sin embargo, es necesario seguir investigando para comprender mejor los efectos agudos de los diferentes protocolos concurrentes de VBT,

en términos de magnitud de la carga (60% frente al 80% de 1RM) y pérdida de velocidad en la serie (10% frente al 30%), sobre el rendimiento en carrera de resistencia.

Otros aspectos a tener en cuenta en relación al entrenamiento de fuerza son las diferencias existentes entre hombres y mujeres. En esta línea, se ha observado que los hombres registran velocidades superiores a las de las mujeres para el mismo %1RM durante diversos ejercicios de entrenamiento de fuerza (Pareja-Blanco et al., 2020). Del mismo modo, se ha informado de que hombres y mujeres entrenados de forma recreacional, pueden lograr aumentos similares en el rendimiento de fuerza y potencia tras un programa de VBT de ocho semanas con una pérdida de velocidad del 20% o del 40%, aunque algunos resultados han indicado que las ganancias de fuerza y potencia favorecen el uso de una pérdida de velocidad del 40% en lugar del 20% en las mujeres (Rissanen et al., 2022). En este sentido, parece que las mujeres requieren una mayor fatiga dentro del ejercicio que los hombres para maximizar el desarrollo de la fuerza y la potencia. Walker et al., (2022) también observaron que los hombres eran más susceptibles a la fatiga neuromuscular aguda que las mujeres, pero estas diferencias en la fatigabilidad se redujeron tras el programa VBT. Sin embargo, aunque estos resultados son alentadores para abordar la brecha de sexo observada en la literatura científica, existen escasas pruebas sobre cómo el sexo podría mediar en el fenómeno RT-SEP, en particular para las variables de prescripción VBT (magnitud de carga y pérdida de velocidad en la serie), y su efecto sobre la VAM mientras corremos.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

2.1. Objetivo general.

- Examinar la influencia de las prestaciones neuromusculares en el rendimiento del corredor de resistencia y optimizar su gestión en la preparación física del corredor.

2.2. Objetivos e hipótesis específicos.

La presente Tesis Doctoral se ha organizado en tres estudios basados en los siguientes objetivos e hipótesis específicos:

Estudio 1: *Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.*

- **Objetivo.** Examinar la relación entre las diferentes cualidades de fuerza evaluadas a través del tirón isométrico a media altura del muslo, salto en caída, perfil horizontal F-V (a través de esprint de carrera) y perfil vertical L-V (a través de CMJ) con el rendimiento de carrera de resistencia a diferentes intensidades en un grupo de corredores y corredoras recreativos.
- **Hipótesis.** Las diferentes cualidades de fuerza estarán más fuertemente asociadas con el rendimiento en carrera a medida que aumente la intensidad, diferenciando el rendimiento entre sexos e identificando cualidades de fuerza específicas dentro de cada grupo.

Estudio 2: *Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.*

- **Objetivos.** i) Explorar la fiabilidad de las variables de relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}) obtenidas mediante el método de dos puntos aplicado en condiciones de campo durante el ejercicio CMJ en sesiones sucesivas, y ii) examinar la viabilidad de las variables de relación L-V para detectar cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo tras cuatro protocolos diferentes de VBT, en términos de magnitud de carga (60% 1RM frente a 80%

1RM) y pérdida de velocidad en la serie (10% frente a 30%), en corredores recreacionales masculinos y femeninos.

- **Hipótesis.** i) Las tres variables de la relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}) tendrían una fiabilidad aceptable entre días (Miras-Moreno et al., 2023; Pérez-Castilla et al., 2022), ii) la disminución de A_{line} sería más predominante en los protocolos VBT con altas repeticiones a través de una reducción selectiva de L_0 (Quidel-Catrilebún et al., 2024), y iii) los cambios en el perfil L-V serían más pronunciados en los hombres que en las mujeres (Walker et al., 2022).

Estudio 3: Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.

- **Objetivo.** Examinar el efecto agudo de cuatro protocolos diferentes de VBT, en términos de magnitud de carga (60% frente a 80% 1RM) y pérdida de velocidad en la serie (10% frente a 30%), sobre el rendimiento de la VAM estimado a partir de una prueba de carrera en pista en hombres y mujeres entrenados de forma recreacional.
- **Hipótesis.** El rendimiento de la VAM se vería comprometido cuando la carrera en pista va precedida de los diferentes protocolos VBT (Doma et al., 2019). En concreto, se esperaría un mayor deterioro del rendimiento de la VAM con (i) una carga relativa baja junto con un umbral de pérdida de velocidad alto en la serie (Doma & Deakin, 2014; Quidel-Catrilebún et al., 2024) y (ii) en hombres (Taipale et al., 2014; Walker et al., 2022).

3. MATERIAL Y MÉTODO.

Los aspectos más destacados de material y método de cada uno de los tres estudios se presentan resumidamente en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Resumen metodología.

Estudio	Muestra	Diseño	Procedimiento	Dispositivos utilizados
<i>Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.</i>	- n = 21. 11 hombres (edad = 28.0 ± 6.5 años; masa corporal = 76.5 ± 7.0 kg; altura = 1.78 ± 0.08 m) y 10 mujeres (edad = 33.7 ± 9.7 años; masa corporal = 56.0 ± 2.3 kg; altura = 1.63 ± 0.07 m). - Todos los sujetos tenían una marca de 10km entre 40:00-55:00 minutos.	- Se realizó un estudio transversal. - Los sujetos fueron evaluados en 4 ocasiones separadas por 48-72 horas. - Sesiones destinadas a: i) evaluar cada cualidad de fuerza; ii) determinar el $VO_{2máx}$; iii) determinar su rendimiento en carrera en una distancia de 10 km; y iv) determinar su rendimiento en 2 pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos, respectivamente.	-Sesión 1: i) <i>Prueba de tracción isométrica a media altura del muslo</i>: 3 intentos de 5 segundos con 2 minutos de descanso entre cada uno. ii) <i>Prueba de salto en caída</i>: 3 repeticiones máximas separadas por 2 minutos de descanso. iii) <i>Prueba de perfil F-V horizontal. (esprint 30m)</i>: 3 repeticiones máximas con 2 minutos de descanso. iv) <i>Prueba de perfil L-V vertical. (CMJ)</i>: 3 CMJ con 0.5 kg (barra de madera), 20 kg (barra olímpica sin peso) y 2 cargas intermedias entre 20 kg y carga_{0,55}. Por último, se realizaron 2 sentadillas traseras con la carga_{0,55}. Los descansos entre repeticiones y entre series se fijaron siempre en 5 segundos y 3 minutos, respectivamente.	- Dinamómetro electromecánico (Dynasystem; Model Research, Granada, España). - Plataforma de contacto (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) delante de una caja de 30 cm de altura. - Aplicación MySprint. - Transductor lineal de velocidad validado (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España). - Analizador metabólico portátil (COSMED K5; COSMED, Roma, Italia).

			-Sesión 2: i) <i>Prueba de ejercicio graduado</i> ($VO_{2máx}$): Palieres de 3 minutos con incrementos de velocidad de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, comenzando desde $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. -Sesión 3: i) Prueba de 10 km alrededor de la pista de atletismo (esfuerzo en el dominio de intensidad moderada). -Sesión 4: i) 2 pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos con 30 minutos de descanso entre cada una (distancia-esfuerzo individualizada en el dominio de intensidad severa).	
<i>Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.</i>	- n = 21. 11 hombres (edad = 28.4 ± 6.4 años [rango: 19-38]; masa corporal = 78.9 ± 11.2 kg; altura corporal = 176.4 ± 6.0 cm) y 10 mujeres (edad = 23.5 ± 2.1 años [rango: 21-28]; masa corporal = 55.2 ± 6.9 kg; altura corporal = 161.2 ± 7.8 cm).	- Un diseño cruzado aleatorizado y controlado. - Los sujetos completaron aleatoriamente cuatro protocolos VBT diferentes separados por 48-72 horas.	1. Se determinó el perfil L-V utilizando las series del calentamiento específico en el ejercicio de sentadilla trasera. La repetición con una velocidad media más alta en cada serie se utilizó para estimar la carga equivalente a una velocidad media de $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (carga_{0.55}) en la relación L-V individualizada.	- Transductor lineal de velocidad validado (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España).

	- Todos los sujetos eran físicamente activos, tenían al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza y estaban familiarizados con el ejercicio de sentadilla trasera.		2. Evaluación de factores neuromusculares antes y después del protocolo VBT a través del método de dos puntos: 3 CMJ con una barra de madera (< 0.5 kg) y 2 sentadillas traseras con la carga_{0,55}. 2. Protocolo VBT: Se utilizaron dos cargas relativas diferentes (60% vs. 80% 1RM) y dos magnitudes diferentes de pérdida de velocidad durante la serie (10% vs. 30%) en el ejercicio de sentadilla trasera.	
<i>Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.</i>	- n = 20. 11 hombres (edad = $28,4 \pm 6,4$ años; masa corporal = $78,9 \pm 11,2$ kg; altura corporal = $176,4 \pm 6,0$ cm) y 9 mujeres (edad = $23,6 \pm 2,2$ años; masa corporal = $56,1 \pm 6,6$ kg; altura corporal = $161,7 \pm 8,1$ cm). - Todos los sujetos eran físicamente activos, tenían al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza y	- Diseño cruzado aleatorizado y controlado. - Los sujetos completaron los cinco protocolos aleatorios en sesiones separadas por 48-72 h. - Se llevó a cabo la condición de control (es decir, RTT) y cuatro protocolos diferentes de VBT seguidos por el RTT.	1. Protocolo VBT: Se utilizaron dos cargas relativas diferentes (60% vs. 80% 1RM) y dos magnitudes diferentes de pérdida de velocidad durante la serie (10% vs. 30%) en el ejercicio de sentadilla trasera. 2. Protocolo RTT: Se realizó un <i>Test VAM-HPSS</i> para determinar el rendimiento en carrera (VAM y $VO_{2m\acute{a}x}$).	- Transductor lineal de velocidad validado (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España). - Aplicación <i>Test VAM-HPSS</i>.

	estaban familiarizados con el ejercicio de sentadilla trasera.			
--	--	--	--	--

VO_{2máx}, consumo máximo de oxígeno; F-V, fuerza-velocidad; L-V, carga-velocidad; CMJ, salto con contramovimiento; VBT, entrenamiento de fuerza basado en la velocidad; 1RM, una repetición máxima; RTT, prueba de carrera en pista; VAM, velocidad aeróbica máxima.

Estudio 1: *Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.*

○ **Muestra**

Veintiún corredores recreativos, once hombres (edad 28.0 ± 6.5 años [rango: 20-40]; masa corporal 76.5 ± 7.0 kg; altura 1.78 ± 0.08 m; mejor marca de la temporada en 10 km $47:32 \pm 04:49$; $VO_{2\text{máx}}$ 55.6 ± 4.1 ml·kg⁻¹·min⁻¹) y diez mujeres (edad 33.7 ± 9.7 años [rango: 21-47]; masa corporal 56.0 ± 2.3 kg; altura 1.63 ± 0.07 m; mejor marca de la temporada en 10 km $47:46 \pm 03:30$; $VO_{2\text{máx}}$ 53.8 ± 5.0 ml·kg⁻¹·min⁻¹), se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio (los datos se presentan como media $\pm$ desviación estándar). Se reclutó a corredores de ambos sexos en función de su mejor marca en 10 km de la temporada, para crear un grupo de rendimiento recreativo homogéneo (40:00-55:00 minutos) (Honert et al., 2020). Se informó a los sujetos sobre el objetivo y los procedimientos del estudio antes de firmar un consentimiento informado por escrito. El protocolo del estudio se ajustó a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 3274/CEIH/2023).

○ **Diseño**

Se realizó un estudio transversal para explorar si las variables reportadas por diferentes pruebas neuromusculares están asociadas con el rendimiento en carreras de resistencia a diferentes intensidades. Los sujetos fueron evaluados en 4 ocasiones separadas por 48-72 horas (Ide et al., 2011; Overgaard et al., 2004). En la primera sesión se evaluó cada cualidad de fuerza (James et al., 2023) mediante diferentes procedimientos de prueba: tirón isométrico a media altura del muslo (es decir, tasa de desarrollo de fuerza, fuerza pico), salto en caída (es decir, índice de fuerza reactiva), perfil F-V horizontal (es decir, esprint de carrera; F_0 , v_0 , $P_{\text{máx}}$) y perfil L-V vertical (es decir, CMJ; L_0 , v_0 y A_{line}). Se siguió el orden mencionado para minimizar cualquier posible aparición de fatiga (Weakley et al., 2024). La segunda sesión de evaluación se utilizó para determinar el $VO_{2\text{máx}}$ mediante una prueba de ejercicio graduado para controlar esta variable en la relación entre las cualidades de fuerza y el rendimiento

en carrera. La tercera y cuarta sesión se utilizaron para determinar su rendimiento en carrera en una distancia de 10 km y en 2 pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos (**Figura 3**). Cada sesión de pruebas transcurrió por separado entre 48 y 72 horas, y se pidió a los sujetos que se abstuvieran de realizar cualquier actividad física extenuante durante la recogida de datos.

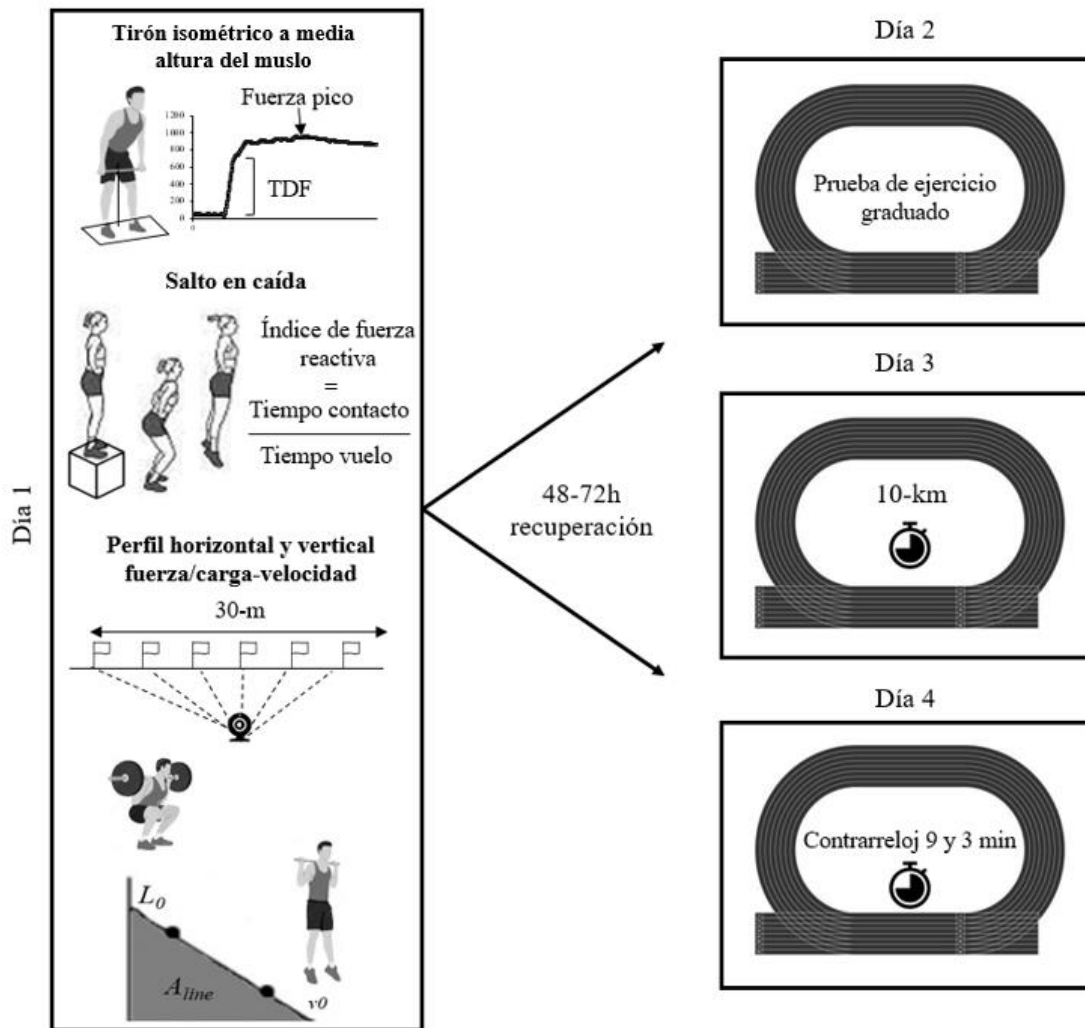


Figura 3. Síntesis del diseño experimental. TDF: Tasa de desarrollo de fuerza; L_0 : intersección del eje de carga; v_0 : intersección del eje de velocidad; A_{line} : área bajo la línea de relación carga-velocidad.

○ **Procedimiento**

Cada sesión de pruebas comenzó con un protocolo de calentamiento generalizado. En primer lugar, los sujetos realizaban diferentes ejercicios de movilidad de las extremidades inferiores. A continuación, corrieron 5 minutos a una intensidad seleccionada por ellos mismos con la que podían hablar cómodamente. Tras un breve descanso, los sujetos realizaron 3-4 carreras progresivas de 80 m que finalizaron al 90% de su velocidad máxima autopercebida.

➤ *Prueba de tirón isométrico a media altura del muslo.*

En primer lugar, un asistente informó y ejemplificó a los sujetos que el objetivo de la prueba consistía en empujar la barra hacia arriba lo más rápido y fuerte posible durante 5 segundos en una posición que replicara la segunda fase del levantamiento en el ejercicio de arrancada: La espalda recta, las rodillas ligeramente flexionadas, los hombros hacia atrás y hacia abajo justo detrás de la alineación vertical de la barra, los pies debajo de la barra separados a la anchura de las caderas, las rodillas colocadas por debajo y por delante de la barra y los muslos tocando la barra (Comfort et al., 2019). Dentro de estas instrucciones, se adoptó su posición preferida y se corroboró que estaba dentro de un ángulo aceptable utilizando un goniómetro (rodilla: 125-145°; cadera: 140-150°) (Comfort et al., 2015). Se utilizó un dinamómetro electromecánico (Dynasystem; Model Research, Granada, España) para controlar la curva fuerza-tiempo de cada serie (Baena-Raya et al., 2023). Se utilizó una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz para determinar la tasa de desarrollo de fuerza en diferentes momentos (es decir, 50, 100, 150 y 200 ms) y la fuerza pico. Se dio a los sujetos una instrucción de cuenta atrás de "3, 2, 1, tirón" para iniciar la tracción isométrica, que fue determinada automáticamente por el software del dinamómetro. El asistente animó verbalmente a los sujetos para garantizar la máxima implicación. Tras dos intentos para familiarizarse y corregir la ejecución técnica, se realizaron 3 repeticiones con 2 minutos de descanso entre ellas. La mejor repetición fue anotada para el análisis posterior. No se permitía la pretensión ni el contramovimiento, y si esto ocurría, se repetía.

➤ *Prueba de salto en caída.*

En primer lugar, un asistente informó y ejemplificó a los sujetos que el objetivo de la prueba consistía en dejarse caer, con ambas manos en las caderas, desde una caja de 30 cm de altura y rebotar con ambos pies intentando minimizar el tiempo de contacto y maximizar el tiempo de vuelo (es decir, la altura del salto). Se colocó una plataforma de contacto (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) (Pueo et al., 2020) delante de la caja para medir tiempo de contacto y tiempo de vuelo, y así determinar el índice de fuerza reactiva (es decir, tiempo de vuelo / tiempo de contacto) (Southey et al., 2024). Tras dos intentos de familiarización y corregir la ejecución técnica, los sujetos realizaron 3 repeticiones máximas separadas por 2 minutos de descanso. La mejor repetición fue anotada para el análisis posterior. En caso de observar una tendencia incremental, los sujetos realizaban una cuarta repetición.

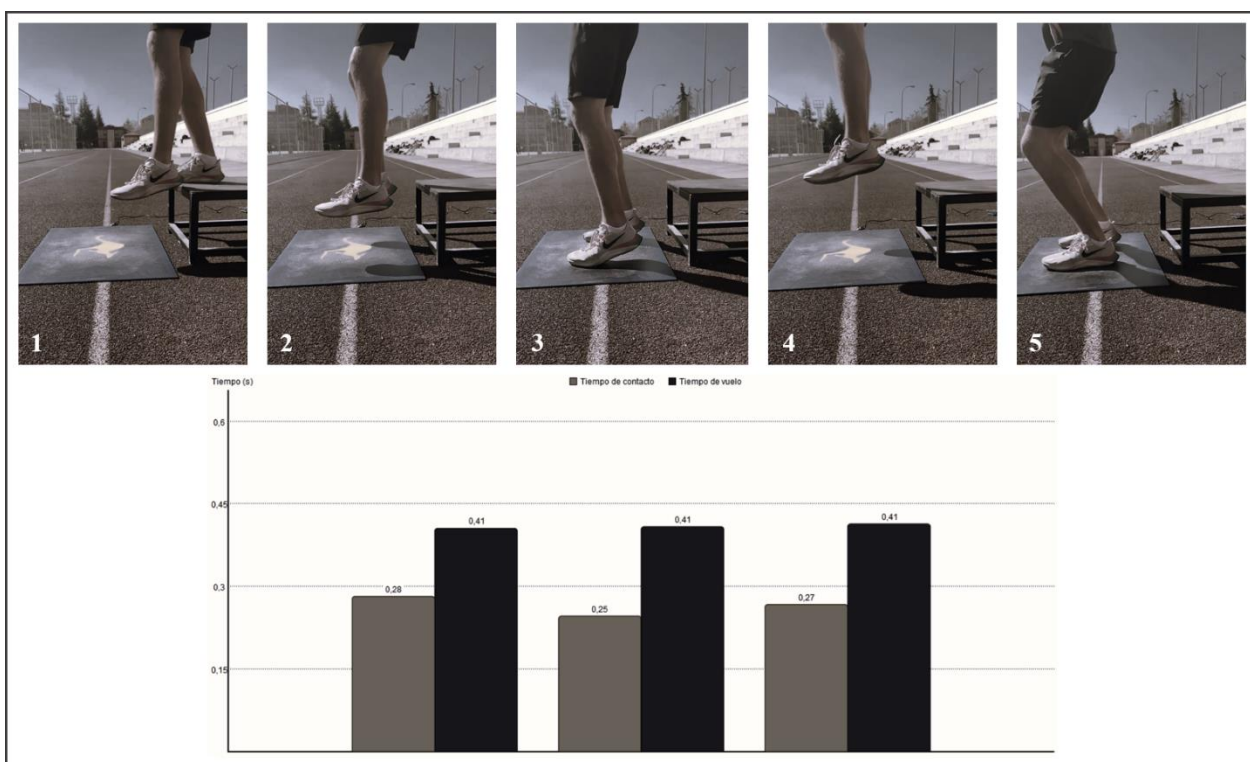


Figura 4. Sujeto realizando la prueba de salto en caída. Fases del salto y resultados (tiempo de contacto y tiempo de vuelo).

➤ *Prueba de perfil F-V horizontal. Esprint de carrera.*

En primer lugar, un asistente informó y ejemplificó a los sujetos que el objetivo de la prueba era realizar un esprint máximo de 30 m desde una posición agachada: pie preferido colocado en la línea de salida, brazo opuesto adelantado y hombro en la alineación vertical de la línea de salida. Se controlaron seis tiempos parciales (es decir, 5-, 10-, 15-, 20-, 25- y 30-m) a través de un iPhone 12 pro (Apple, Inc.), grabando a 240 fps, utilizando la aplicación MySprint. Esta aplicación calcula la F_0 , la v_0 horizontal (v_{0H}) y la $P_{máx}$, así como la disminución de la relación de la fuerza a medida que aumenta la velocidad durante la aceleración del esprint basándose en los 6 tiempos parciales utilizando las leyes básicas del movimiento (Romero-Franco et al., 2017; Samozino et al., 2016). El inicio del esprint fue autoseleccionado y determinado en la aplicación como el primer momento en que el pie trasero se despegó del suelo. Para grabar el vídeo de cada esprint, se montó el iPhone 12 pro en un trípode y se colocó a 10 m de distancia de la marca de 15 m. Para corregir el paralaje (desviación angular), se colocó un marcador de corrección para cada división, tal y como sugiere el fabricante (Romero-Franco et al., 2017), aspecto que se tuvo en cuenta para anotar cuándo cruzaba la cadera el atleta. Los sujetos realizaron 3 repeticiones máximas con 2 minutos de descanso. La mejor repetición se anotó para el análisis posterior. Los tiempos parciales registrados por la aplicación MySprint han proporcionado F_0 , v_{0H} y $P_{máx}$ similares a los métodos estándar de oro de tiempos parciales (es decir, fotocélulas), velocidad instantánea (es decir, pistola de radar) (Romero-Franco et al., 2017) y fuerza (es decir, placas o plataforma de fuerza) (Romero-Franco et al., 2017; Samozino et al., 2016).

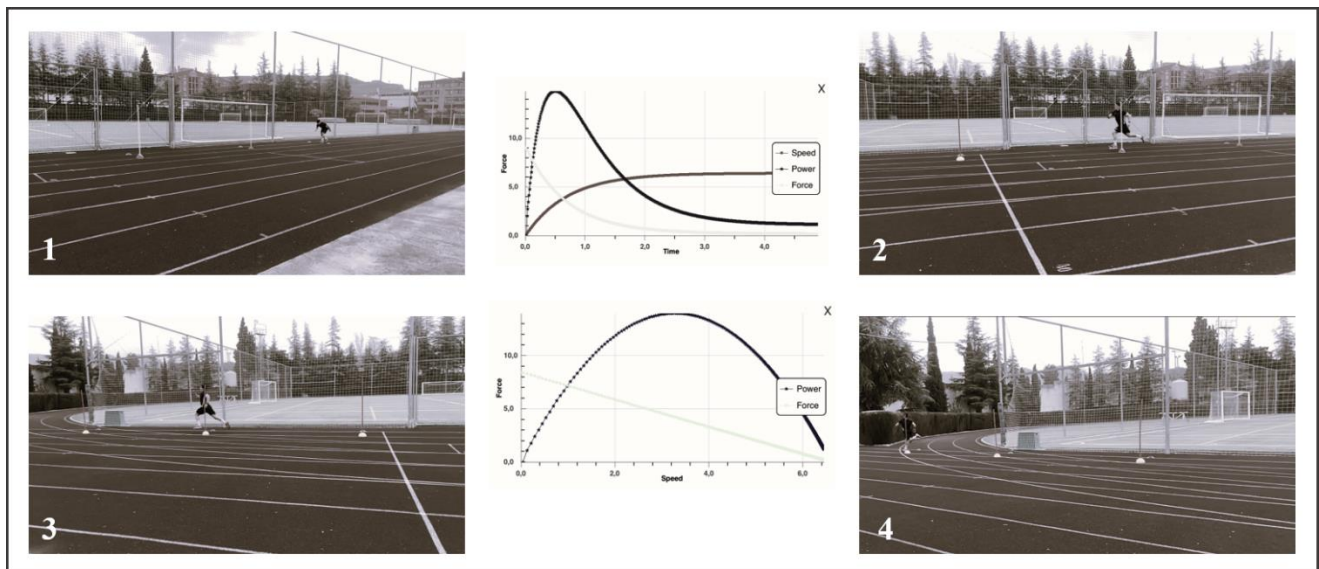


Figura 5. Evaluación del perfil fuerza-velocidad horizontal. Sujeto realizando la prueba de esprint.

➤ *Prueba de perfil L-V vertical. CMJ.*

En primer lugar, un asistente informó y ejemplificó a los sujetos que el objetivo de la prueba era desplazar diferentes cargas a la velocidad más rápida posible durante el ejercicio CMJ. Los sujetos debían permanecer de pie con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados a la anchura de los hombros y la barra sujeta en la parte superior de los hombros y la espalda. Desde esta posición, se les pedía que saltaran lo más alto posible tras realizar un contramovimiento rápido a una profundidad seleccionada por ellos mismos. Como los sujetos no podían saltar con la carga más pesada, se les indicó que volvieran a la posición inicial lo más rápido posible tras realizar un movimiento descendente continuo (es decir, técnica de sentadilla trasera). La profundidad de la sentadilla se estandarizó con los muslos paralelos al suelo y se controló individualmente utilizando las barras de seguridad del soporte del rack de sentadillas.

Como parte del calentamiento específico, los sujetos realizaron una serie de seis, cuatro y dos repeticiones al 40, 60 y 80% de la 1RM de sentadilla trasera seleccionada por ellos mismos, respectivamente. Usando un transductor de velocidad

lineal de velocidad (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España) (Pérez-Castilla et al., 2019), se recopiló la mejor velocidad media para determinar el perfil L-V individualizado y estimar la carga más alta (84 ± 25 kg [$54\text{--}144$ kg]) equivalente a una velocidad media de $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (carga_{0.55}) ($0.56 \pm 0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [$0.41\text{--}0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$]) (Evans et al., 1995). Tras esto, los sujetos realizaron 3 CMJ con 0.5 kg (barra de madera), 20 kg (barra olímpica sin peso) y 2 cargas intermedias entre 20 kg y carga_{0.55} (37 ± 7 kg [$28\text{--}54$ kg] y 54 ± 15 kg [$36\text{--}88$ kg]). Por último, realizaron 2 sentadillas traseras con la carga_{0.55}. Los descansos entre repeticiones y entre series se fijaron siempre en 5 segundos y 3 minutos, respectivamente. Los valores más altos de velocidad media recopilados de las 5 cargas externas se utilizaron para modelar la relación L-V individualizada mediante la aplicación de un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados ($L[V] = L_0 - sV$), donde L_0 representa la carga a velocidad cero y s es la pendiente de la relación L-V. Se calcularon entonces la velocidad vertical v_0 [$v_{0V} = L_0/s$] y A_{line} ($L_0 \times v_0/2$) (Pérez-Castilla et al., 2022; Pérez-Castilla et al., 2023).



Figura 6. Evaluación del perfil carga-velocidad. Sujeto realizando el ejercicio de sentadilla trasera con la carga correspondiente a $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

➤ *Prueba de ejercicio graduado.*

Se realizó una prueba de ejercicio graduado para determinar el $VO_{2\text{máx}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-2}$). Esto se hizo para controlar esta variable en las relaciones entre las cualidades de fuerza y el rendimiento en carrera. La prueba consistió en etapas o palieres de 3 minutos con incrementos de velocidad de $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, comenzando desde $8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Kuipers et al., 2003). Esto se realizó en una pista de atletismo al aire libre, y el ritmo fue establecido por un investigador montado en bicicleta delante y cerca del sujeto. Para registrar la captación de oxígeno se utilizó el analizador metabólico portátil (COSMED K5; COSMED, Roma, Italia), que se calibró previamente siguiendo las recomendaciones del fabricante. Los datos respiratorios (“respiración a respiración”) se examinaron para excluir respiraciones erráticas, y se eliminaron aquellos valores que se desviaban más de 4 desviaciones estándar de la media local. Luego, los datos se interpolaron linealmente para obtener valores por segundo y se promediaron en intervalos de 10 segundos. El $VO_{2\text{máx}}$ se determinó como el valor máximo del promedio móvil de 30 segundos.



Figura 7. Colocación del analizador metabólico portátil y desarrollo de la prueba.

➤ *Pruebas de rendimiento en carrera.*

La carrera de 10 km y la prueba de 9-3 minutos se realizaron en una pista de atletismo al aire libre. Se eligió una distancia de 10 km para determinar un esfuerzo en el dominio de intensidad moderada para el nivel de la muestra reclutada ($47:40 \pm 04:04$). Las pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos se seleccionaron para determinar una distancia-esfuerzo individualizada en el dominio de intensidad severa (Ruiz-Alias et al., 2022). Los 10 km se realizaron en la tercera sesión de pruebas, y ambas pruebas de contrarreloj se realizaron en la cuarta sesión de evaluación con 30 minutos de descanso entre cada una (Ruiz-Alias et al., 2023). Los sujetos recibieron información sobre el tiempo de vuelta para garantizar un ritmo adecuado y se les animó verbalmente para motivarles a realizar el máximo esfuerzo. La máxima intensidad de los esfuerzos se confirmó de acuerdo con la escala de Borg de categoría-ratio (8 puntos) y la frecuencia cardíaca máxima estimada por la edad (90%). Todas las sesiones de prueba se realizaron bajo condiciones ambientales similares (temperatura: 18–23 °C; humedad: 30–60%; viento: $<10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$).

○ **Análisis estadístico**

La estadística descriptiva se representa como media $\pm$ desviación estándar. La distribución normal de los datos y la homogeneidad de las varianzas se confirmaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk y las pruebas de Levene, respectivamente. Se realizó una prueba t para muestras independientes para comparar el rendimiento en carrera, la condición cardiovascular y las cualidades de fuerza entre los sexos. La magnitud de las diferencias se cuantificó mediante el tamaño del efecto de Hedge's g (ES). La escala utilizada para interpretar la magnitud del ES fue la siguiente: *trivial* (<0.20), *pequeña* (0.20–0.59), *moderada* (0.60–1.19), *grande* (1.20–2.00) y *extremadamente grande* (>2.00) (Hopkins et al., 2009). La relación entre el rendimiento en carrera de 10 km y la prueba de 9-3 minutos con cada cualidad de fuerza se examinó utilizando correlaciones parciales, ajustando para $\text{VO}_{2\text{máx}}$ entre hombres, mujeres y ambos sexos combinados. Asimismo, se controló el peso corporal. Se adoptaron los siguientes criterios para interpretar la magnitud de las correlaciones: 0.00–0.09 (*trivial*), 0.10–0.29 (*pequeña*), 0.30–0.49 (*moderada*), 0.50–

0.69 (*grande*), 0.70–0.89 (*muy grande*), 0.90–0.99 (*casi perfecta*) y 1.00 (*perfecta*) (Hopkins et al., 2009). El análisis de datos se realizó utilizando el software SPSS (versión 25; SPSS, Inc., Chicago, IL). La significancia estadística se estableció en $p \leq 0.05$.

Estudio 2: Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.

○ **Muestra**

Veintiún corredores recreacionales, once hombres (edad = 28.4 ± 6.4 años [rango: 19-38]; masa corporal = 78.9 ± 11.2 kg; altura corporal = 176.4 ± 6.0 cm; 1RM de sentadilla trasera en relación con la masa corporal = 1.8 ± 0.4) y diez mujeres (edad = 23.5 ± 2.1 años [rango: 21-28]; masa corporal = 55.2 ± 6.9 kg; altura corporal = 161.2 ± 7.8 cm; 1RM de sentadilla trasera en relación con la masa corporal = 1.5 ± 0.3), se ofrecieron voluntarios para participar en este estudio. Los criterios de selección fueron: i) estar dispuesto a abstenerse de cualquier ejercicio extenuante durante el estudio, ii) tener al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza, iii) estar familiarizado con la sentadilla trasera como parte de su entrenamiento habitual, y iv) estar libre de limitaciones musculoesqueléticas durante los últimos tres meses. Se informó a los sujetos sobre la finalidad y los procedimientos del estudio antes de firmar un formulario de consentimiento informado por escrito. El protocolo del estudio se ajustó a los principios de la versión más reciente de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 3274/CEIH/2023).

○ **Diseño**

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado y controlado para explorar la fiabilidad y viabilidad de las variables de la relación L-V para monitorizar los cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo tras diferentes protocolos VBT en corredores recreacionales masculinos y femeninos. Los sujetos completaron aleatoriamente cuatro protocolos VBT diferentes separados por

48-72 horas: i) protocolo VBT con 60% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10% (VBT₆₀₋₁₀), ii) protocolo VBT con 60% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30% (VBT₆₀₋₃₀), iii) protocolo VBT con 80% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10% (VBT₈₀₋₁₀), y iv) protocolo VBT con 80% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30% (VBT₈₀₋₃₀). Todas las sesiones se realizaron a la misma hora del día (± 2 horas) para minimizar la posible influencia de las variaciones diurnas en el rendimiento de fuerza.

○ **Procedimiento**

La masa corporal y la estatura se midieron utilizando un sistema analizador de grasa corporal con electrodos de contacto pie a pie (TBF-300A; Tanita Corp of America Inc, Arlington Heights, IL) y un estadiómetro de pared (Seca 202; Seca Ltd., Hamburgo, Alemania), respectivamente. Cada protocolo VBT comenzó con el mismo calentamiento general, que consistió en trotar, estiramientos dinámicos y ejercicios de movilidad articular. Como parte del calentamiento específico se realizaron dos series de diez sentadillas (con el peso corporal) y CMJ submáximos. A continuación, los sujetos completaron una serie de seis repeticiones al 40% 1RM, cuatro repeticiones al 60% 1RM y dos repeticiones al 80% 1RM durante el ejercicio de sentadilla trasera. El 1RM fue autoinformado por los sujetos y se mantuvo la misma carga absoluta en todas las sesiones. La repetición con una velocidad media más alta en cada serie de calentamiento se utilizó para estimar la carga equivalente a una velocidad media de $0.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (carga_{0,55}) en la relación L-V individualizada (Pérez-Castilla et al., 2023). Se utilizó un transductor lineal de velocidad validado (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España) para calcular automáticamente la velocidad media y proporcionar retroalimentación auditiva de la velocidad media después de cada repetición (Pérez-Castilla et al., 2019).

Después de tres minutos de descanso pasivo (es decir, sentado, caminando lentamente), se determinó la relación L-V utilizando el método de dos puntos, antes y después de cada protocolo VBT. Siguiendo recomendaciones previas (Pérez-Castilla et al., 2023), se realizaron tres CMJ con una barra de madera ($< 0.5 \text{ kg}$) y dos sentadillas traseras contra la carga_{0,55} ($89.3 \pm 29.6 \text{ kg}$ [43-170 kg]) separadas por tres

minutos de descanso. Se realizó una repetición adicional cuando la velocidad media difería $>10\%$ entre repeticiones, y el valor más extremo se descartó del análisis (Baena-Raya et al., 2023). Concretamente, se utilizó el promedio de los valores de velocidad media recogidos en las dos condiciones de carga diferentes para determinar las variables de la relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}) aplicando un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados (para más detalles, véase Pérez-Castilla et al., (2021)).

Los protocolos VBT se configuraron utilizando dos cargas relativas (60% frente a 80% 1RM) y dos umbrales de pérdida de velocidad diferentes en la serie (10% frente a 30%). La carga relativa se determinó en cada sesión a partir de la relación L-V individualizada utilizando las series de calentamiento específicas y un umbral de velocidad mínima de $0,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Pérez-Castilla et al., 2020). Las series finalizaban cuando los sujetos eran incapaces de completar dos repeticiones consecutivas por encima del límite de pérdida de velocidad o con toda la amplitud de movimiento. La repetición más rápida de la primera serie se utilizó para definir el límite de pérdida de velocidad objetivo (Quidel-Catrilebún et al., 2024). En todos los protocolos VBT se utilizó el mismo ejercicio (sentadilla trasera), número de series (tres) y descanso entre series (tres minutos).

En ambos ejercicios, los sujetos debían permanecer de pie con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente a la anchura de los hombros y la barra sujeta sobre la parte superior de los hombros y la espalda. Desde esta posición, debían saltar lo más alto posible tras realizar un contramovimiento rápido a una profundidad seleccionada por ellos mismos (salto con contramovimiento) o volver a la posición inicial lo más rápido posible tras realizar un movimiento descendente continuo hasta que sus glúteos entraran en contacto con una caja de madera (sentadilla trasera) (Morenas-Aguilar et al., 2023). La altura de la caja de madera se fijó individualmente a 90° de flexión de la rodilla con un goniómetro manual (Goniómetro Rulong, Fisaude, España).

○ **Análisis estadístico**

Los datos descriptivos se presentan como media $\pm$ desviación estándar. La normalidad de los datos se confirmó mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($P > 0.05$).

La fiabilidad entre días se evaluó mediante el coeficiente de variación ($CV = \text{error estándar de medida} / \text{puntuación media de los sujetos} \times 100$) y el coeficiente de correlación intraclase (CCI; Modelo 3.1) con sus correspondientes intervalos de confianza del 95% (IC 95%). Se determinó una fiabilidad aceptable con un $CV < 10\%$ y un $CCI > 0.80$ (Lindberg et al., 2021). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de modelos mixtos a las variables VBT (carga, velocidad media más rápida de la primera serie [$MV_{\text{rápida}}$], número total de repeticiones) y variables derivadas de la relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}), con el protocolo (VBT₆₀₋₁₀ vs. VBT₆₀₋₃₀ vs. VBT₈₀₋₁₀ vs. VBT₈₀₋₃₀) como factor intra-sujeto, y el sexo como factor inter-sujetos. También se aplicó un ANOVA de medidas repetidas de una vía a las variables de relación L-V obtenidas al inicio de cada sesión y al cambio de puntuación (post-pre) obtenida de cada variable de relación L-V. Se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser cuando no se cumplía la prueba de esfericidad de Mauchly y las comparaciones por pares se identificaron mediante correcciones post hoc de Bonferroni. La magnitud de las diferencias se cuantificó mediante las diferencias medias estandarizadas (tamaño del efecto d de Cohen) calculadas como la diferencia media bruta dividida por la desviación estándar agrupada de las condiciones comparadas. El ES para cambios entre protocolos VBT para cada variable de relación L-V se calculó como diferencias medias post-pre de una condición - diferencias medias post-pre de otra condición / desviación estándar agrupada. Para interpretar la magnitud del ES se utilizó la siguiente escala: *trivial* (< 0.20), *pequeño* ($0.20-0.59$), *moderado* ($0.60-1.19$), *grande* ($1.20-2.00$) y *extremadamente grande* (> 2.00) (Hopkins et al., 2009). Se utilizó el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (r) para cuantificar la asociación para el cambio de puntuación de cada variable de la relación L-V entre los protocolos VBT. Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron utilizando una hoja de cálculo Excel personalizada (Hopkins, 2015). Los demás análisis estadísticos se realizaron con el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 25.0, Chicago, IL, EE.UU.). La significación estadística se estableció a un nivel alfa de 0.05. Los datos que respaldan las conclusiones de este estudio están disponibles abiertamente en OSF en <https://osf.io/nmqyh/>.

Estudio 3: Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.

○ **Muestra**

Veinte adultos jóvenes entrenados de forma recreacional, once hombres (edad = 28.4 ± 6.4 años [rango: 19–38]; masa corporal = 78.9 ± 11.2 kg; altura = 176.4 ± 6.0 cm; 1RM en sentadilla trasera relativo a la masa corporal = 1.8 ± 0.4 kg·kg⁻¹; VO_{2máx} = 46.0 ± 7.8 mL·kg⁻¹·min⁻¹) y nueve mujeres (edad = 23.6 ± 2.2 años [rango: 21–28]; masa corporal = 56.1 ± 6.6 kg; altura = 161.7 ± 8.1 cm; 1RM en sentadilla trasera relativo a la masa corporal = 1.6 ± 0.3 kg·kg⁻¹; VO_{2máx} = 37.2 ± 5.1 mL·kg⁻¹·min⁻¹), se ofrecieron como voluntarios/as para participar en este estudio. Todos los sujetos tenían al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza y resistencia (7.3 ± 5.9 y 10.3 ± 5.9 años para los hombres, y 2.2 ± 1.2 y 9.3 ± 3.4 años para las mujeres, respectivamente), y estaban familiarizados con los ejercicios de sentadilla trasera y carrera. No se notificaron limitaciones físicas, problemas de salud o lesiones musculoesqueléticas que pudieran comprometer las pruebas. Además, ninguno de los sujetos tomaba drogas, medicamentos o suplementos dietéticos para influir en el rendimiento físico. Todos los sujetos fueron informados de la finalidad y los procedimientos del estudio antes de firmar un consentimiento informado por escrito. El protocolo del estudio se ajustó a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (nº: 3274/CEIH/2023).

○ **Diseño**

Se utilizó un diseño cruzado aleatorizado y controlado para comparar el efecto agudo entre la condición de control (es decir, prueba de carrera en pista. Del término anglosajón “*running track test*” [RTT]) y cuatro protocolos diferentes de VBT seguidos por el RTT (VBT₆₀₋₁₀ + RTT, VBT₆₀₋₃₀ + RTT, VBT₈₀₋₁₀ + RTT, y VBT₈₀₋₃₀ + RTT) en el rendimiento de la VAM entre hombres y mujeres entrenados de forma recreacional. Los sujetos completaron los cinco protocolos aleatorios en sesiones separadas por 48-72 h (**Figura 8**). La aplicación *Test VAM-HPSS* (versión 3.3, Universidad de Murcia, Murcia, España) se instaló en un smartphone Samsung

Galaxy A71 (Samsung, Suwon, Corea del Sur) para estimar el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y la VAM durante cada RTT (ver más abajo para más detalles). Tanto el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ como la VAM estimados a partir del protocolo RTT fueron muy similares a los observados durante la prueba de laboratorio y los métodos de intercambio de gases (sesgo = $0.2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y $<0.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente) (Pallarés et al., 2019). Los sujetos debían evitar cualquier ejercicio extenuante durante todo el estudio. Todas las sesiones se realizaron en la pista de atletismo de la universidad, a la misma hora del día para cada sujeto ($\pm 3 \text{ h}$) y en condiciones ambientales similares (temperatura: $6\text{-}15^\circ\text{C}$; viento: $< 8 \text{ km/h}^{-1}$).

○ Procedimiento

La masa corporal y la altura se midieron al principio de la primera sesión utilizando un sistema analizador de grasa corporal con electrodos de contacto pie a pie (TBF-300A; Tanita Corp of America Inc., Arlington Heights, IL, EE.UU.) y un estadiómetro de pared (Seca 202; Seca Ltd., Hamburgo, Alemania), respectivamente. Cada protocolo comenzó con el mismo calentamiento general conformado por cinco minutos de carrera a un ritmo elegido por los participantes, estiramientos dinámicos y ejercicios de movilidad articular. El calentamiento específico consistió en dos series de diez sentadillas (con el peso corporal) y cinco CMJ, seguidos de una serie de seis, cuatro y dos repeticiones al 40%, 60% y 80% de la 1RM de sentadilla trasera autopercebida de los sujetos, con 3 minutos de descanso entre series, respectivamente. Tras el calentamiento, los sujetos descansaron pasivamente durante tres minutos antes de comenzar cada protocolo (véase la **Figura 8**).

➤ Protocolos VBT.

Se utilizaron dos cargas relativas (60% frente a 80% 1RM) y dos magnitudes diferentes de pérdida de velocidad durante la serie (10% frente a 30%). En concreto, la configuración de los cuatro protocolos VBT fue la siguiente (i) 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 10% (VBT_{60-10}), (ii) 60% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 30% (VBT_{60-30}), (iii) 80% 1RM con una pérdida de velocidad en la serie del 10% (VBT_{80-10}), y (iv) 80% 1RM con una pérdida de

velocidad en la serie del 30% (VBT_{80-30}). La carga relativa de cada sesión se determinó a partir de la relación L-V individualizada utilizando las series de calentamiento específicas y un umbral de velocidad mínimo de $0,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Pérez-Castilla et al., 2020). Las series finalizaban cuando los sujetos eran incapaces de completar dos repeticiones consecutivas por encima del límite de pérdida de velocidad o con toda la amplitud de movimiento. La repetición más rápida de la primera serie se utilizó para definir el límite de pérdida de velocidad objetivo (por ejemplo, si la velocidad más rápida es de $0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la velocidad objetivo utilizada para finalizar una serie sería de $0,68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para el 10% de pérdida de velocidad). En todos los protocolos VBT se utilizó el mismo ejercicio (sentadilla trasera), número de series (tres) y descanso entre series (tres minutos). Se utilizó un transductor lineal de velocidad validado (sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España) para calcular automáticamente la velocidad media y proporcionar retroalimentación auditiva de la velocidad media después de cada repetición (Courel-Ibáñez et al., 2019). Los indicadores de rendimiento de VBT fueron: (i) el número de repeticiones completadas en la serie, (ii) la velocidad más rápida de la serie, y (iii) la velocidad media de la serie.

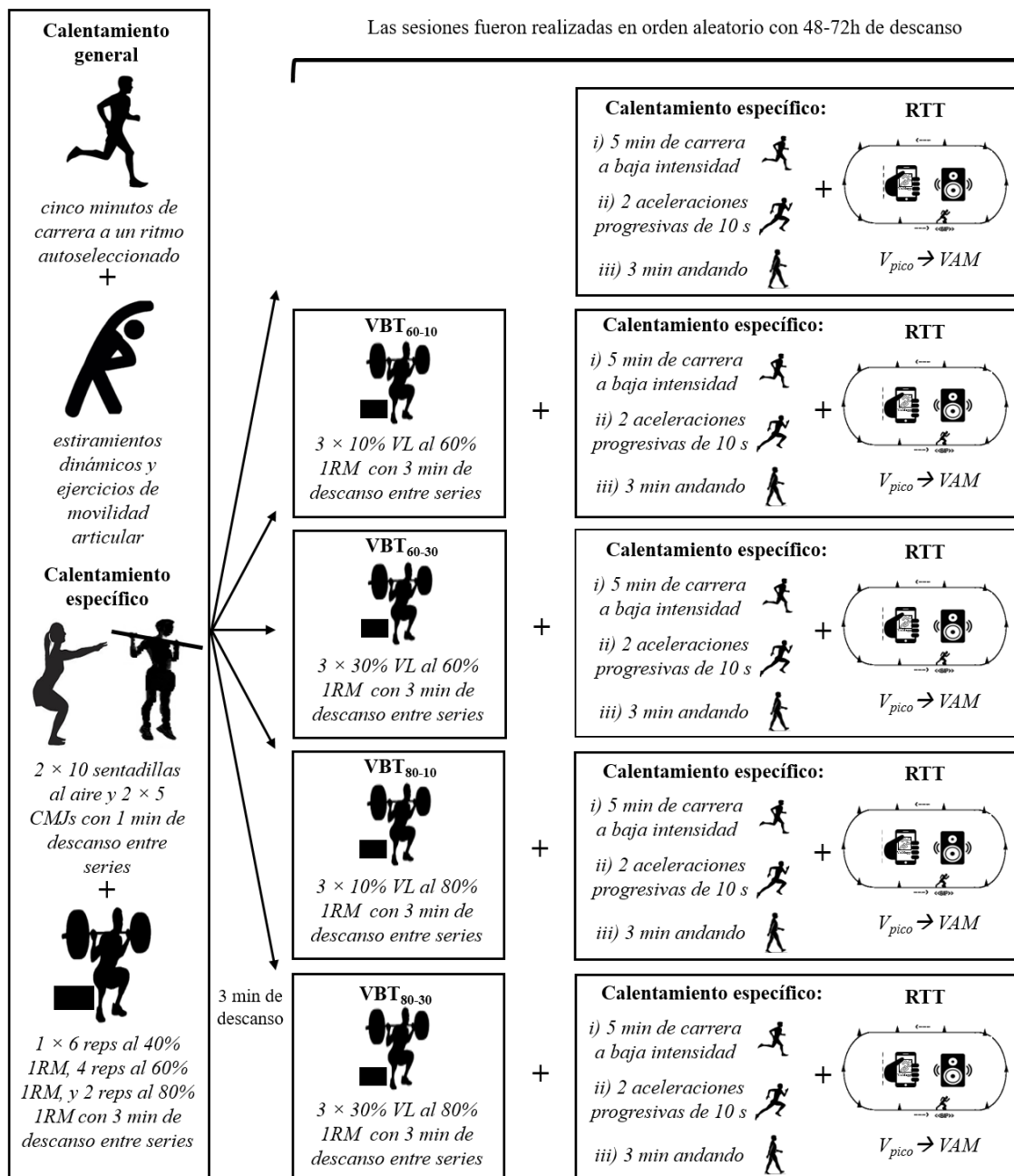


Figura 8. Resumen del diseño experimental. VAM: velocidad aeróbica máxima; CMJ: salto con contramovimiento; 1RM: una repetición máxima; RTT: prueba de carrera en pista; V_{pico} : velocidad máxima; VBT₆₀₋₁₀: entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) con el 60% de 1RM y una pérdida de velocidad (del término anglosajón “velocity loss” [VL]) en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, VBT con el 60% de 1RM y una VL en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, VBT con el 80% de 1RM y una VL en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, VBT con el 80% de 1RM y una VL en la serie del 30%.

En la técnica de sentadilla trasera, los sujetos se colocaban de pie con las rodillas y las caderas completamente extendidas, los pies separados aproximadamente a la altura de los hombros y la barra sujeta en la parte superior de los hombros y la parte superior de la espalda. Desde esta posición, debían descender en un movimiento continuo hasta que su glúteo hiciera contacto con una caja de madera e, inmediatamente después, volver a la posición inicial lo más rápido posible. La altura de la caja de madera se fijó individualmente a 90° de flexión de la rodilla con un goniómetro manual (Goniómetro Rulong, Fisaude, España).

➤ Protocolo RTT.

Se utilizó la aplicación *Test VAM-HPSS* para determinar el rendimiento en carrera (VAM y $VO_{2\text{máx}}$) siguiendo las instrucciones del fabricante. En primer lugar, se seleccionó el protocolo RTT en función de la velocidad máxima indicada por los sujetos: (i) $< 17.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($> 41.0 \text{ min}$ en una carrera de 10 km), $17.0\text{-}19.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($36.5\text{-}41.0 \text{ min}$ en una carrera de 10 km) y $> 19.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($< 36.0 \text{ min}$ en una carrera de 10 km). En segundo lugar, los sujetos completaron cinco minutos de carrera a baja intensidad, dos carreras progresivas de diez segundos y tres minutos de caminata como parte del calentamiento específico. En tercer lugar, los sujetos recibieron una señal auditiva de “preparados, listos” antes de comenzar el protocolo RTT con una señal acústica (un pitido). Tras pulsar el botón de inicio, se activaron los campos de cronómetro, distancia y velocidad en la aplicación *Test VAM-HPSS*. Los sujetos fueron instruidos previamente para alcanzar cada cono situado cada 25 metros alrededor de una pista de atletismo mientras regulaban su ritmo de carrera en función de las señales acústicas. La frecuencia de la señal acústica se ajustó automáticamente según la velocidad máxima seleccionada para cada protocolo RTT. Todas las señales auditivas y acústicas fueron proporcionados por la aplicación *Test VAM-HPSS* conectada a un altavoz. El protocolo RTT finalizaba cuando los sujetos eran incapaces de alcanzar el cono en el momento de la señal acústica en dos ocasiones consecutivas, o decidían voluntariamente dejar de correr tras percibir un esfuerzo máximo. La frecuencia cardíaca (FC) máxima se registró con una banda pectoral Polar H10 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) durante el RTT, y se informó de la escala de Borg de categoría-ratio (10 puntos) (CR-10) tras la prueba. La FC y CR-10 se utilizaron

como criterios de esfuerzo máximo (Midgley et al., 2007). La aplicación *Test VAM-HPSS* estimó automáticamente la VAM y el $VO_{2\text{máx}}$ a partir de la velocidad máxima alcanzada en cada RTT (Pallarés et al., 2019).

○ **Análisis estadístico**

Los datos descriptivos se presentan como media $\pm$ desviación estándar. La prueba de Shapiro-Wilk confirmó la distribución normal de todas las variables ($p > 0.05$), excepto para CR-10. Se utilizó un ANOVA de medidas repetidas de un solo factor y la prueba de Friedman para comparar la FC máxima y el CR-10 entre protocolos, respectivamente. Se realizó un ANOVA de modelo mixto en cada indicador de rendimiento de VBT (número de repeticiones, $MV_{\text{rápida}}$ y velocidad media) con el protocolo y las series como factores intra-sujeto y el sexo como factor entre-sujeto. Se aplicó un ANOVA de modelo mixto a la VAM, con el protocolo como factor intra-sujeto y el sexo como factor entre-sujeto. La corrección de Greenhouse-Geisser se utilizó cuando no se cumplía la prueba de esfericidad de Mauchly y las comparaciones por pares se identificaron mediante correcciones post hoc de Bonferroni. La magnitud de las diferencias se cuantificó mediante las diferencias de medias estandarizadas (tamaño del efecto d de Cohen). Se utilizó la siguiente escala para interpretar la magnitud del SE: *trivial* (< 0.20), *pequeño* ($0.20-0.59$), *moderado* ($0.60-1.19$), *grande* ($1.20-2.00$) y *extremadamente grande* (> 2.00) (Hopkins et al., 2009). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete informático SPSS (IBM SPSS versión 25.0, Chicago, IL, EE.UU.) y la significación estadística se fijó en un nivel alfa de 0.05. El poder estadístico post hoc se realizó mediante G*Power (versión 3.1) con un ES de 0.30 y un α de 0.05, lo que reveló un poder estadístico de 0.93.

4. RESULTADOS.

Los principales resultados de cada estudio se muestran resumidamente en la **Tabla 10**. El apartado de resultados se presenta diferenciando los tres estudios que componen la presente Tesis Doctoral.

Estudio 1: *Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.*

- $VO_{2\text{máx}}$, 10km, contrarreloj 9-3 minutos, y manifestaciones de fuerza.

Los datos descriptivos y comparativos de $VO_{2\text{máx}}$, el rendimiento en carrera y las manifestaciones de fuerza entre hombres y mujeres se muestran en la **Tabla 2**.

No se informaron diferencias significativas entre sexos en $VO_{2\text{máx}}$ ($p = 0.356$, $ES = -0.38$ [-1.30 a 0.54]), rendimiento en 10 km ($p = 0.816$, $ES = 0.09$ [-0.83 a 1.00]) y en 9 minutos ($p = 0.183$, $ES = -0.64$ [-1.58 a 0.30]). Sin embargo, se observó una diferencia significativa grande en el rendimiento en 3 minutos ($p = 0.006$, $ES = -1.22$ [-2.23 a -0.22]).

No se encontraron diferencias significativas entre sexos para las variables reportadas en la tracción isométrica a media altura del muslo ($p \geq 0.088$, $ES \leq -0.76$). No obstante, se observaron diferencias significativas de moderadas a grandes en salto en caída ($p \leq 0.028$, $ES \geq -0.96$), el perfil F-V horizontal ($p \leq 0.048$, $ES \geq -0.96$) y el perfil L-V vertical ($p \leq 0.008$, $ES \geq 1.25$), excepto para el tiempo de contacto ($p = 0.477$, $ES = 0.33$ [-0.59 a 1.25]), A_{line} ($p = 0.124$, $ES = 0.69$ [-0.26 a 1.63]) y F_0 ($p = 0.263$, $ES = -0.49$ [-1.42 a 0.43]).

Tabla 2. Comparación entre sexos en la condición cardiovascular, el rendimiento en carrera y las manifestaciones de fuerza.

	Mujeres	Hombres	P-valor	ES
Condición cardiovascular				
VO ₂ máx (ml/kg/min)	53.8 ± 5.0	55.6 ± 4.1	0.356	-0.38
Rendimiento en carrera				
10-km (km/h)	12.7 ± 1.3	12.6 ± 0.9	0.816	0.09
Contrarreloj 9-min (km/h)	14.0 ± 1.4	14.8 ± 1.0	0.183	-0.64
Contrarreloj 3-min (km/h)	15.5 ± 1.2	16.9 ± 1.0	0.006	-1.22
Tirón isométrico a media altura del muslo				
Fuerza pico (N/kg)	16.0 ± 1.9	18.2 ± 3.4	0.088	-0.76
TDF 50 ms (N/kg.ms)	72.3 ± 45.0	84.5 ± 45.9	0.578	-0.26
TDF 100 ms (N/kg.ms)	66.5 ± 38.0	83.7 ± 43.3	0.391	-0.40
TDF 150 ms (N/kg.ms)	56.9 ± 28.7	70.3 ± 32.7	0.376	-0.42
TDF 200 ms (N/kg.ms)	46.4 ± 20.3	56.4 ± 23.7	0.356	-0.43
Salto en caída				
Índice de fuerza reactiva (%)	1.26 ± 0.34	1.59 ± 0.30	0.028	-0.99
Tiempo de contacto (seg)	0.284 ± 0.04	0.272 ± 0.03	0.477	0.33
Tiempo de vuelo (seg)	0.344 ± 0.05	0.427 ± 0.05	0.002	-1.59
Perfil F-V horizontal				
F ₀ (N/kg)	10.0 ± 1.26	10.6 ± 1.07	0.263	-0.49
v _{oH} (m/s)	6.63 ± 0.23	8.05 ± 0.54	< 0.001	-3.23
P _{máx} (W/kg)	16.8 ± 2.19	21.5 ± 2.94	0.001	-1.73
DRF (%s/m)	-0.12 ± 0.01	-0.11 ± 0.01	0.048	-0.96
Perfil L-V vertical				
L ₀ (Kg _{MC})	2.28 ± 0.76	1.54 ± 0.31	0.008	1.25
v _{0V} (m/s)	1.42 ± 0.10	1.73 ± 0.15	< 0.001	-2.31
A _{line} (Kg _{MC} /m.s ⁻¹)	1.60 ± 0.52	1.32 ± 0.22	0.124	0.69

VO₂máx, Consumo máximo de oxígeno; TDF, Tasa de desarrollo de fuerza; F₀, fuerza máxima teórica; v_{oH}, velocidad máxima teórica horizontal; P_{máx}, potencia máxima ($P_{máx} = F_0 \times v_0/4$); DRF, disminución en la relación entre fuerza y aceleración (del término anglosajón “*Decrease in the ratio of force over acceleration*”); L₀, intersección del eje de carga; v_{0V}, intersección del eje de velocidad vertical; A_{line}, área bajo la línea de relación carga-velocidad.

- Prueba de tirón isométrico a media altura del muslo.

No se reportaron correlaciones significativas entre la fuerza pico y el rendimiento en carrera en las pruebas de 10 km, 9 minutos y 3 minutos ($r \leq -0.522$, $p \geq 0.150$; $r \leq 0.475$, $p \geq 0.054$; **Tabla 3**).

Tampoco se informaron correlaciones significativas entre TDF y el rendimiento en carrera en las pruebas de 10 km, 9 minutos y 3 minutos ($r \leq -0.603$, $p \geq 0.08$; $r \leq 0.360$, $p \geq 0.341$) en cualquier intervalo de tiempo (es decir, 50, 100, 150, 200 ms).

Tabla 3. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el tirón isométrico a media altura del muslo.

		Fuerza pico (N/kg)	TDF 50 ms (N/kg.ms)	TDF 100 ms (N/kg.ms)	TDF 150 ms (N/kg.ms)	TDF 200 ms (N/kg.ms)
10-km (km/h)	Grupo	$r = -0.230$ $p = 0.375$	$r = -0.224$ $p = 0.388$	$r = -0.271$ $p = 0.292$	$r = -0.307$ $p = 0.230$	$r = -0.293$ $p = 0.254$
	Hombre	$r = -0.469$ $p = 0.203$	$r = -0.603$ $p = 0.086$	$r = -0.569$ $p = 0.110$	$r = -0.500$ $p = 0.170$	$r = -0.484$ $p = 0.186$
	Mujer	$r = 0.306$ $p = 0.504$	$r = 0.198$ $p = 0.671$	$r = 0.139$ $p = 0.766$	$r = -0.013$ $p = 0.978$	$r = 0.015$ $p = 0.974$
Contra reloj 9-min (km/h)	Grupo	$r = -0.033$ $p = 0.900$	$r = 0.044$ $p = 0.868$	$r = 0.063$ $p = 0.809$	$r = 0.012$ $p = 0.962$	$r = 0.030$ $p = 0.909$
	Hombre	$r = -0.522$ $p = 0.150$	$r = -0.364$ $p = 0.336$	$r = -0.340$ $p = 0.371$	$r = -0.309$ $p = 0.419$	$r = -0.319$ $p = 0.403$
	Mujer	$r = 0.290$ $p = 0.528$	$r = 0.271$ $p = 0.556$	$r = 0.260$ $p = 0.574$	$r = 0.080$ $p = 0.864$	$r = 0.118$ $p = 0.801$
Contra reloj 3-min (km/h)	Grupo	$r = 0.475$ $p = 0.054$	$r = 0.243$ $p = 0.347$	$r = 0.326$ $p = 0.201$	$r = 0.294$ $p = 0.251$	$r = 0.303$ $p = 0.237$
	Hombre	$r = 0.352$ $p = 0.353$	$r = 0.308$ $p = 0.421$	$r = 0.340$ $p = 0.370$	$r = 0.360$ $p = 0.341$	$r = 0.318$ $p = 0.404$
	Mujer	$r = 0.041$ $p = 0.931$	$r = -0.052$ $p = 0.911$	$r = -0.028$ $p = 0.953$	$r = -0.174$ $p = 0.710$	$r = -0.142$ $p = 0.761$

TDF, Tasa de desarrollo de fuerza; r , coeficiente de correlación parcial; p , P-valor.

- Prueba de salto en caída.

No se reportaron correlaciones significativas entre el índice de fuerza reactiva y el rendimiento en carrera de 10 km ($r \leq -0.334$, $p \geq 0.380$), 9 minutos ($r \leq 0.191$, $p \geq 0.380$) y 3 minutos ($r \leq 0.354$, $p \geq 0.126$; **Tabla 4**), ni para el tiempo de contacto ($r \leq 0.438$; $p \geq 0.206$; $r \leq 0.431$; $p \geq 0.213$; $r \leq 0.242$; $p \geq 0.501$) o tiempo de vuelo ($r \leq 0.450$; $p \geq 0.225$; $r \leq 0.284$; $p \geq 0.458$; $r \leq 0.562$; $p \geq 0.091$).

Tabla 4. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el salto en caída.

		Índice de fuerza reactiva (%)	Tiempo de contacto (seg)	Tiempo de vuelo (seg)
10-km (km/h)	Grupo	$r = 0.023$ $p = 0.922$	$r = 0.075$ $p = 0.754$	$r = 0.105$ $p = 0.659$
	Hombre	$r = -0.201$ $p = 0.577$	$r = 0.438$ $p = 0.206$	$r = 0.099$ $p = 0.785$
	Mujer	$r = -0.334$ $p = 0.380$	$r = -0.160$ $p = 0.681$	$r = 0.450$ $p = 0.225$
Contrarreloj 9-min (km/h)	Grupo	$r = 0.170$ $p = 0.473$	$r = 0.063$ $p = 0.793$	$r = 0.311$ $p = 0.182$
	Hombre	$r = -0.122$ $p = 0.738$	$r = 0.431$ $p = 0.213$	$r = 0.238$ $p = 0.507$
	Mujer	$r = 0.191$ $p = 0.622$	$r = -0.024$ $p = 0.951$	$r = 0.284$ $p = 0.458$
Contrarreloj 3-min (km/h)	Grupo	$r = 0.354$ $p = 0.126$	$r = 0.010$ $p = 0.967$	$r = 0.575$ $p = 0.008$
	Hombre	$r = 0.200$ $p = 0.590$	$r = 0.242$ $p = 0.501$	$r = 0.562$ $p = 0.091$
	Mujer	$r = -0.072$ $p = 0.854$	$r = 0.186$ $p = 0.631$	$r = 0.055$ $p = 0.889$

r , coeficiente de correlación parcial; p , P-valor.

- Prueba de perfil F-V horizontal.

No se observaron correlaciones significativas entre F_0 y el rendimiento en carrera en las pruebas de 10 km y 9 minutos ($r \leq -0.360$, $p \geq 0.306$; $r \leq 0.385$, $p \geq 0.307$). Sin embargo, se observó una correlación positiva muy grande en la prueba de 3 minutos ($r = 0.700$ [0.384–0.869]; $p = 0.001$) para todo el grupo (**Tabla 5**).

No se reportaron correlaciones significativas entre v_{0H} y el rendimiento en carrera de 10 km, 9 minutos y 3 minutos ($r \leq -0.382$, $p \geq 0.096$; $r \leq 0.248$, $p \geq 0.292$) para todo el grupo. Con respecto al sexo, se reportaron correlaciones negativas significativas muy grandes y grandes entre v_{0H} y el rendimiento en carrera en las pruebas de 10 km ($r = -0.842$ [-0.962 a -0.452], $p = 0.004$) y 9 minutos ($r = -0.672$ [-0.915 a -0.073], $p = 0.047$) en mujeres, respectivamente. En los hombres, no se reportaron relaciones significativas en ninguna prueba ($r \leq 0.169$, $p \geq 0.640$).

No se informaron correlaciones significativas entre $P_{m\acute{a}x}$ y el rendimiento en las pruebas de 10 km y 9 minutos ($r \leq -0.349$, $p \geq 0.132$; $r \leq -0.435$, $p \geq 0.209$) para todo el grupo. Sin embargo, se observó una correlación positiva significativa grande en la prueba de 3 minutos ($r = 0.579$ [0.196–0.809], $p = 0.009$). Con respecto al sexo, solo las mujeres reportaron una correlación significativa muy grande en la prueba de 10 km ($r = -0.815$ [-0.955 a -0.381], $p = 0.007$), mientras que en los hombres no se observaron correlaciones significativas ($r \leq 0.435$, $p \geq 0.209$).

No se informaron correlaciones significativas entre DRF y el rendimiento en las pruebas de 10 km, 9 minutos y 3 minutos ($r \leq -0.576$, $p \geq 0.082$; $r \leq 0.339$, $p \geq 0.337$).

- Prueba de perfil L-V vertical.

No se reportaron correlaciones significativas entre L_0 y el rendimiento en la prueba de 10 km ($r \leq -0.369$, $p \geq 0.328$). Sin embargo, se observaron correlaciones negativas moderadas y grandes en las pruebas de 9 minutos ($r = -0.474$ [-0.752 a -0.053], $p = 0.035$) y 3 minutos ($r = -0.644$ [-0.842 a -0.294], $p = 0.002$) para todo el grupo, respectivamente (**Tabla 5**).

No se informaron correlaciones significativas entre v_{0V} y el rendimiento en las pruebas de 10 km y 9 minutos ($r \leq 0.298$, $p \geq 0.436$; $r \leq -0.113$, $p \geq 0.637$). Sin embargo, se observó una correlación positiva muy grande en la prueba de 3 minutos ($r = 0.756$ [0.481–0.895], $p < 0.001$) para todo el grupo, y especialmente en los hombres ($r = 0.843$ [0.492–0.958], $p = 0.002$) más que en las mujeres ($r = 0.347$, $p = 0.361$).

No se informaron correlaciones significativas entre A_{line} y el rendimiento en la prueba de 10 km ($r \leq -0.411$, $p \geq 0.271$). Sin embargo, se observaron correlaciones negativas moderadas en las pruebas de 9 minutos ($r = -0.457$ [-0.743 a -0.032], $p = 0.043$) y 3 minutos ($r = -0.485$ [-0.758 a -0.067], $p = 0.030$) para todo el grupo.

Tabla 5. Correlaciones parciales entre el rendimiento en carrera y las variables determinadas en el perfil horizontal y vertical de fuerza/carga-velocidad.

		F_0 (N/kg)	v_{0H} (m/s)	$P_{m\acute{a}x}$ (W/kg)	DRF (%/m)	L_0 (Kg _{BM})	v_{0V} (m/s)	A_{line} (Kg _{BM} /m.s ⁻¹)
10-km (km/h)	Grupo	$r =$ -0.230 $p =$ 0.330	$r =$ -0.382 $p =$ 0.096	$r =$ -0.349 $p =$ 0.132	$r =$ 0.096 $p =$ 0.688	$r =$ -0.154 $p =$ 0.516	$r =$ -0.113 $p =$ 0.637	$r = -0.249$ $p = 0.291$
	Hombre	$r =$ -0.360 $p =$ 0.306	$r =$ 0.150 $p =$ 0.679	$r =$ -0.084 $p =$ 0.817	$r =$ -0.576 $p =$ 0.082	$r =$ 0.114 $p =$ 0.754	$r =$ 0.040 $p =$ 0.914	$r = -0.107$ $p = 0.769$
	Mujer	$r =$ 0.034 $p =$ 0.932	$r =$ -0.842* $p =$ 0.004	$r =$ -0.815* $p =$ 0.007	$r =$ 0.350 $p =$ 0.356	$r =$ 0.369 $p =$ 0.328	$r =$ 0.013 $p =$ 0.973	$r = -0.411$ $p = 0.271$
Contrarreloj 9-min (km/h)	Grupo	$r =$ 0.207 $p =$ 0.381	$r =$ -0.225 $p =$ 0.341	$r =$ 0.005 $p =$ 0.982	$r =$ 0.098 $p =$ 0.682	$r =$ -0.474* $p =$ 0.035	$r =$ 0.285 $p =$ 0.223	$r =$ -0.457* $p = 0.043$
	Hombre	$r =$ -0.212 $p =$ 0.557	$r =$ 0.011 $p =$ 0.977	$r =$ -0.095 $p =$ 0.795	$r =$ -0.301 $p =$ 0.398	$r =$ -0.131 $p =$ 0.717	$r =$ 0.099 $p =$ 0.787	$r = -0.103$ $p = 0.777$
	Mujer	$r =$ 0.385 $p =$ 0.307	$r =$ -0.672* $p =$ 0.047	$r =$ -0.540 $p =$ =0.133	$r =$ 0.185 $p =$ 0.633	$r =$ -0.511 $p =$ 0.160	$r =$ 0.298 $p =$ 0.436	$r = -0.495$ $p = 0.175$
Contrarreloj 3-min (km/h)	Grupo	$r =$ 0.700** $p =$ 0.001	$r =$ 0.248 $p =$ 0.292	$r =$ 0.579* $p =$ 0.009	$r =$ 0.247 $p =$ 0.293	$r =$ -0.644* $p =$ 0.002	$r =$ 0.756* * $p <$ 0.001	$r =$ -0.485* $p = 0.030$
	Hombre	$r =$ -0.550 $p =$ 0.099	$r =$ 0.169 $p =$ 0.640	$r =$ 0.435 $p =$ 0.209	$r =$ 0.339 $p =$ 0.337	$r =$ -0.478 $p =$ 0.163	$r =$ 0.843* * $p =$ 0.002	$r = -0.177$ $p = 0.624$
	Mujer	$r =$ 0.481 $p =$ 0.190	$r =$ -0.205 $p =$ 0.597	$r =$ -0.063 $p =$ 0.872	$r =$ -0.176 $p =$ 0.650	$r =$ -0.470 $p =$ 0.202	$r =$ 0.347 $p =$ 0.361	$r = -0.436$ $p = 0.240$

F_0 , fuerza máxima teórica; v_{0H} , velocidad máxima teórica horizontal; $P_{m\acute{a}x}$, potencia máxima ($P_{m\acute{a}x} = F_0 \times v_{0H}/4$); DRF, disminución en la relación entre fuerza y aceleración; L_0 , intersección del eje de carga; v_{0V} , intersección del eje de velocidad vertical; A_{line} , área bajo la línea de relación L-V; r , coeficiente de correlación parcial; p , P-valor.

Estudio 2: Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.

○ **Características de los protocolos VBT.**

Se observó un efecto principal del protocolo sobre la carga, $MV_{rápida}$ y el número total de repeticiones ($F_{(3,57)} \geq 54.26$; $P < 0.001$), así como un efecto principal del sexo para la carga ($F_{(1,19)} \geq 27.93$; $P < 0.001$). Los efectos principales mostraron que i) la carga era mayor para VBT_{80-10} y VBT_{80-30} en comparación con VBT_{60-10} y VBT_{60-30} ($P < 0.001$; $ES \geq 1.50$), ii) la carga fue mayor en los hombres que en las mujeres ($P < 0.001$; $ES = 1.92$), iii) la $MV_{rápida}$ fue mayor para VBT_{60-10} y VBT_{60-30} que para VBT_{80-10} y VBT_{80-30} ($P < 0.001$; $ES \geq 1.42$), y iv) el número total de repeticiones fue mayor para VBT_{60-30} , seguido de VBT_{60-10} , VBT_{80-30} y VBT_{80-10} ($P \leq 0.002$; $ES \geq 0.77$), excepto entre VBT_{60-10} y VBT_{80-30} ($P = 1.000$; $ES = 0.22$). La interacción protocolo $\times$ sexo también alcanzó significación estadística para la carga ($F_{(3,57)} = 8.41$; $P < 0.001$) y la $MV_{rápida}$ ($F_{(3,57)} = 7.23$; $P < 0.001$). En concreto, la carga y el $MV_{rápida}$ tendieron a ser ligeramente mayores para los hombres entre VBT_{60-10} y VBT_{60-30} ($P \leq 0.598$ frente a 1.000; $ES \geq 0.58$ frente a ≤ 0.39) y para las mujeres entre VBT_{80-10} y VBT_{80-30} ($P \leq 0.394$ frente a 1.000; $ES \geq 0.75$ frente a ≤ 0.13) (**Tabla 6**).

Tabla 6. Comparación de las variables de rendimiento entre diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad y el sexo.

Variable	Sexo	Protocolos				ANOVA		
		VBT ₆₀₋₁₀	VBT ₆₀₋₃₀	VBT ₈₀₋₁₀	VBT ₈₀₋₃₀	Protocolo	Sexo	Interacción
Carga (kg)	Hombres	82.8 ± 17.7	87.5 ± 18.6	113.1 ± 25.4	112.0 ± 24.5	F_(3,57) = 81.61; P < 0.001	F_(1,19) = 27.93; P < 0.001	F_(3,57) = 8.41; P < 0.001
	Mujeres	52.8 ± 8.9	54.4 ± 7.6	66.0 ± 12.7	70.3 ± 10.7			
MV _{rápida} (m·s ⁻¹)	Hombres	0.76 ± 0.07	0.73 ± 0.07	0.54 ± 0.06	0.55 ± 0.07	F_(3,57) = 73.81; P < 0.001	F _(1,19) = 2.06; P = 0.168	F_(3,57) = 7.23; P < 0.001
	Mujeres	0.68 ± 0.04	0.67 ± 0.05	0.58 ± 0.07	0.53 ± 0.05			
Número total de repeticiones	Hombres	29.4 ± 8.6	51.3 ± 14.4	16.3 ± 3.8	26.1 ± 9.5	F_(3,57) = 54.26; P < 0.001	F _(1,19) = 0.020; P = 0.890	F _(3,57) = 0.13; P = 0.940
	Mujeres	28.9 ± 14.0	53.8 ± 15.1	16.8 ± 7.7	25.2 ± 8.4			

MV_{rápida}, la velocidad media más rápida de la primera serie; ANOVA, análisis de la varianza; F = F de Snedecor; P, valor P; VBT₆₀₋₁₀, protocolo de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con el 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%. Las diferencias significativas se destacan en negrita.

○ **Fiabilidad entre días de las variables de la relación L-V.**

Al comienzo de cada sesión, no se registraron diferencias para L_0 ($F_{(3,60)} = 1.31$; $P = 0.277$), v_0 ($F_{(3,60)} = 1.35$; $P = 0.268$), y A_{line} ($F_{(3,60)} = 2.46$; $P = 0.246$) entre los protocolos VBT. Además, las tres variables de relación L-V presentaron una fiabilidad aceptable entre días ($CV \leq 5.61\%$; $ICC \geq 0.83$), excepto v_0 entre VBT₆₀₋₃₀ y VBT₈₀₋₁₀ ($CV = 5.31$; $ICC = 0.78$) (Tabla 7).

Tabla 7. Fiabilidad entre días de las variables de relación carga-velocidad obtenidas antes de los protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.

Variable de relación L-V	Sesión	CV (95% IC) (%)	CCI (95% IC)
L_0	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₆₀₋₃₀	5.23 (4.00, 7.55)	0.93 (0.84, 0.97)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	5.61 (4.29, 8.10)	0.93 (0.84, 0.97)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	4.44 (3.40, 6.41)	0.95 (0.89, 0.98)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	4.97 (3.80, 7.17)	0.94 (0.87, 0.98)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	3.60 (2.75, 5.20)	0.97 (0.92, 0.99)
	VB _T ₈₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	4.37 (3.34, 6.31)	0.96 (0.90, 0.98)
v_0	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₆₀₋₃₀	4.12 (3.15, 5.95)	0.90 (0.78, 0.96)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	4.98 (3.81, 7.19)	0.83 (0.63, 0.93)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	3.67 (2.81, 5.30)	0.92 (0.82, 0.97)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	5.31 (4.06, 7.67)	0.78 (0.54, 0.91)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	3.92 (3.00, 5.66)	0.90 (0.78, 0.96)
	VB _T ₈₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	4.32 (3.31, 6.24)	0.86 (0.69, 0.94)
A_{line}	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₆₀₋₃₀	4.91 (3.76, 7.10)	0.98 (0.94, 0.99)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	4.37 (3.35, 6.32)	0.98 (0.96, 0.99)
	VB _T ₆₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	4.82 (3.68, 6.96)	0.98 (0.95, 0.99)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₁₀	4.24 (3.24, 6.12)	0.98 (0.95, 0.99)
	VB _T ₆₀₋₃₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	3.91 (2.99, 5.64)	0.98 (0.96, 0.99)
	VB _T ₈₀₋₁₀ vs. VB _T ₈₀₋₃₀	3.03 (2.32, 4.38)	0.99 (0.98, 1.00)

L_0 , intersección del eje de carga; v_0 , intersección del eje de velocidad; A_{line} , área bajo la línea de relación L-V; CV, coeficiente de variación; CCI, coeficiente de correlación intraclase; IC del 95%, intervalo de confianza del 95%; VB_T₆₀₋₁₀, protocolo de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VB_T₆₀₋₃₀, protocolo VBT con un 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VB_T₈₀₋₁₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VB_T₈₀₋₃₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%. Los números en negrita indican una fiabilidad inaceptable (CV > 10% y CCI < 0.80).

○ **Cambios en las variables de la relación L-V.**

Se observó un efecto principal del tiempo para v_0 ($F_{(1,19)} = 6.74$; $P = 0.018$) y A_{line} ($F_{(1,19)} = 30.20$; $P < 0.001$), reduciéndose ambas variables tras los protocolos VBT ($ES = -0.39$ y -0.48 , respectivamente). También se observó un efecto principal del sexo para v_0 ($F_{(1,19)} = 14.50$; $P = 0.001$), con mayor magnitud en los hombres que en las mujeres ($ES = 1.63$) (**Figura 9**). Se identificó una interacción protocolo $\times$ tiempo para v_0 ($F_{(1,19)} = 2.94$; $P = 0.041$) y A_{line} ($F_{(1,19)} = 5.10$; $P = 0.003$). Tanto v_0 como A_{line} se redujeron tras los protocolos VBT₆₀₋₃₀ ($P = 0.013$ y < 0.001 ; $ES = -0.59$ y -1.10 ; respectivamente) y VBT₈₀₋₃₀ ($P = 0.044$ y 0.017 ; $ES = -0.47$ y -0.57 ; respectivamente), pero no tras VBT₆₀₋₁₀ ($P = 0.931$ y 0.066 ; $ES = 0.02$ y -0.10 ; respectivamente) y VBT₈₀₋₁₀ ($P = 0.108$ y 0.425 ; $ES = -0.37$ y -0.18 ; respectivamente). No se alcanzó significación estadística para los efectos principales e interacciones restantes (**Tabla 8**).

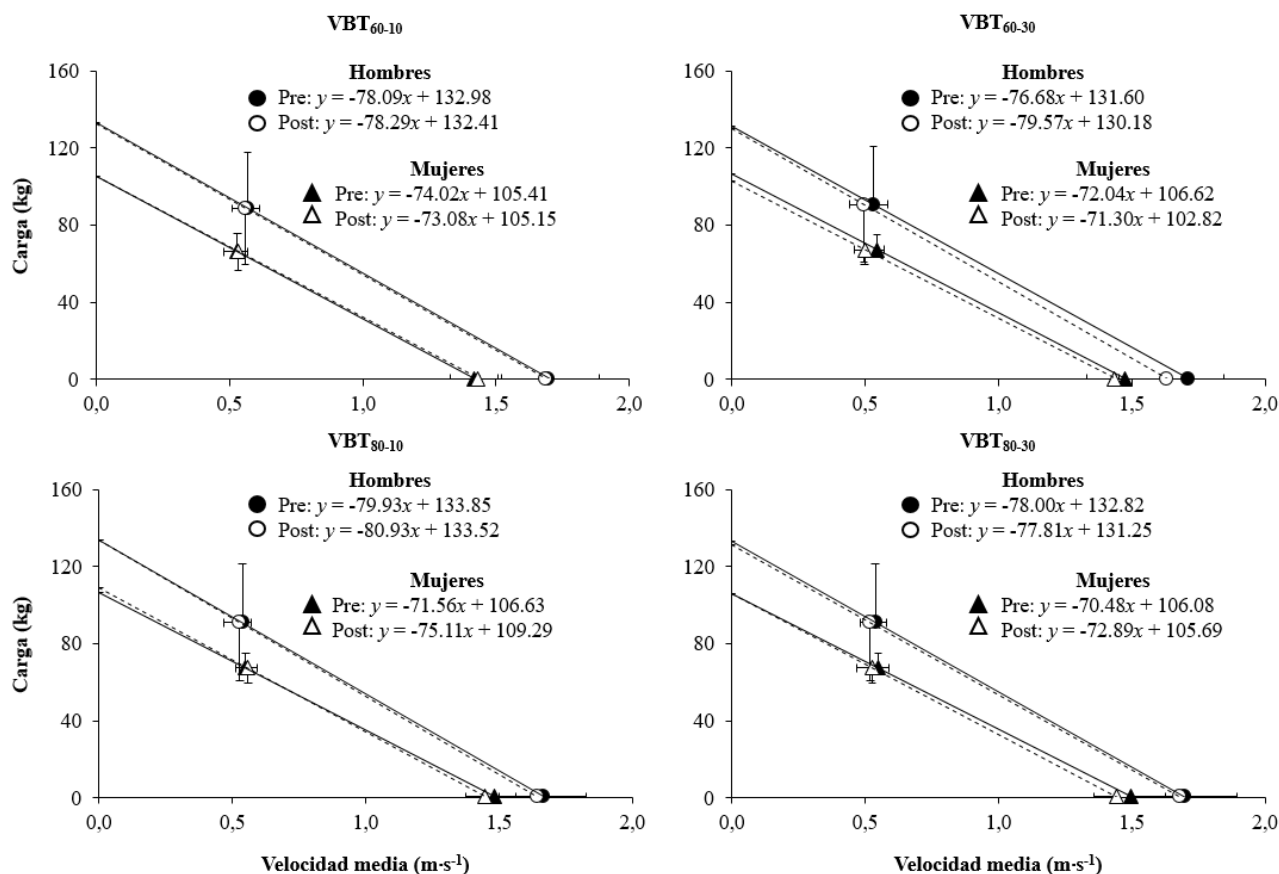


Figura 9. Cambios en el perfil de carga-velocidad tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) por separado para hombres (círculos) y mujeres (triángulos). Los símbolos en blanco y negro representan los perfiles de carga-velocidad obtenidos antes y después de cada protocolo VBT, respectivamente. Las ecuaciones de regresión se muestran en cada panel. VBT₆₀₋₁₀, protocolo VBT con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con el 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%.

Tabla 8. Comparación de las variables de relación carga-velocidad obtenidas antes y después de los protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad para cada sexo.

Variable de relación L-V	Protocolo (P)	Sexo (S)	Tiempo (T)		ANOVA
			Pre	Post	
L_0 (kg·kg ⁻¹)	VBT ₆₀₋₁₀	Hombres	2.10 ± 0.47	2.09 ± 0.45	P: $F_{(3,57)} = 0.48$; $P = 0.695$ T: $F_{(1,19)} = 1.05$; $P = 0.319$ S: $F_{(1,19)} = 0.91$; $P = 0.353$ P × T: $F_{(3,57)} = 2.66$; $P = 0.057$ P × S: $F_{(3,57)} = 0.57$; $P = 0.638$ T × S: $F_{(1,19)} = 0.09$; $P = 0.770$ P × T × S: $F_{(3,19)} = 1.04$; $P = 0.381$
		Mujeres	1.93 ± 0.29	1.92 ± 0.28	
	VBT ₆₀₋₃₀	Hombres	2.08 ± 0.46	2.05 ± 0.41	
		Mujeres	1.96 ± 0.27	1.89 ± 0.26	
	VBT ₈₀₋₁₀	Hombres	2.08 ± 0.49	2.08 ± 0.47	
		Mujeres	1.85 ± 0.30	1.91 ± 0.35	
	VBT ₈₀₋₃₀	Hombres	2.07 ± 0.45	2.04 ± 0.47	
		Mujeres	1.93 ± 0.34	1.92 ± 0.34	
v_0 (m·s ⁻¹)	VBT ₆₀₋₁₀	Hombres	1.70 ± 0.19	1.69 ± 0.18	P: $F_{(3,57)} = 0.69$; $P = 0.562$ T: $F_{(1,19)} = 6.74$; $P = 0.018$ S: $F_{(1,19)} = 14.50$; $P = 0.001$ P × T: $F_{(3,57)} = 2.94$; $P = 0.041$ P × S: $F_{(3,57)} = 1.80$; $P = 0.158$ T × S: $F_{(1,19)} = 0.04$; $P = 0.846$ P × T × S: $F_{(3,19)} = 1.76$; $P = 0.165$
		Mujeres	1.42 ± 0.11	1.44 ± 0.10	
	VBT ₆₀₋₃₀	Hombres	1.72 ± 0.13	1.63 ± 0.18	
		Mujeres	1.48 ± 0.17	1.44 ± 0.10	
	VBT ₈₀₋₁₀	Hombres	1.67 ± 0.16	1.65 ± 0.14	
		Mujeres	1.49 ± 0.08	1.46 ± 0.07	
	VBT ₈₀₋₃₀	Hombres	1.70 ± 0.20	1.69 ± 0.19	
		Mujeres	1.51 ± 0.13	1.45 ± 0.08	
A_{line} (kg·kg ⁻¹ ·m·s ⁻¹)	VBT ₆₀₋₁₀	Hombres	1.82 ± 0.61	1.79 ± 0.57	P: $F_{(3,57)} = 0.75$; $P = 0.530$ T: $F_{(1,19)} = 30.20$; $P < 0.001$ S: $F_{(1,19)} = 3.65$; $P = 0.071$ P × T: $F_{(3,57)} = 5.10$; $P = 0.003$ P × S: $F_{(3,57)} = 1.39$; $P = 0.256$ T × S: $F_{(1,19)} = 1.33$; $P = 0.263$ P × T × S: $F_{(3,19)} = 0.59$; $P = 0.625$
		Mujeres	1.38 ± 0.25	1.39 ± 0.26	
	VBT ₆₀₋₃₀	Hombres	1.81 ± 0.53	1.70 ± 0.53	
		Mujeres	1.45 ± 0.25	1.36 ± 0.23	
	VBT ₈₀₋₁₀	Hombres	1.77 ± 0.57	1.73 ± 0.51	
		Mujeres	1.39 ± 0.25	1.39 ± 0.29	
	VBT ₈₀₋₃₀	Hombres	1.79 ± 0.59	1.76 ± 0.60	
		Mujeres	1.45 ± 0.28	1.39 ± 0.27	

L_0 , intersección del eje de carga; v_0 , intersección del eje de velocidad; A_{line} , área bajo la línea de relación L-V; ANOVA, análisis de la varianza; F, F de Snedecor; P, valor P; VBT₆₀₋₁₀, protocolo de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con un 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%. Las diferencias significativas se resaltan en negrita.

El ANOVA realizado sobre la puntuación de cambio reveló un efecto principal para v_0 ($F_{(3,60)} = 2.93$; $P = 0.041$) y A_{line} ($F_{(3,60)} = 5.11$; $P = 0.003$), pero no para L_0 ($F_{(3,60)} = 2.61$; $P = 0.060$). Aunque v_0 tendió a reducirse en mayor medida para el VBT₆₀₋₃₀ que para el VBT₆₀₋₁₀ ($P = 0.097$; $ES = -0.57$), la reducción de A_{line} fue mayor para el VBT₆₀₋₃₀ que para el VBT₆₀₋₁₀ ($P = 0.016$; $ES = -0.75$) y el VBT₈₀₋₁₀ ($P = 0.032$; $ES = -0.67$) (**Figura 10**). Las puntuaciones de cambio no se asociaron entre los protocolos VBT para el L_0 ($r \leq 0.204$; $P \geq 0.376$), v_0 ($r \leq -0.201$; $P \geq 0.383$), y A_{line} ($r \leq -0.327$; $P \geq 0.148$).

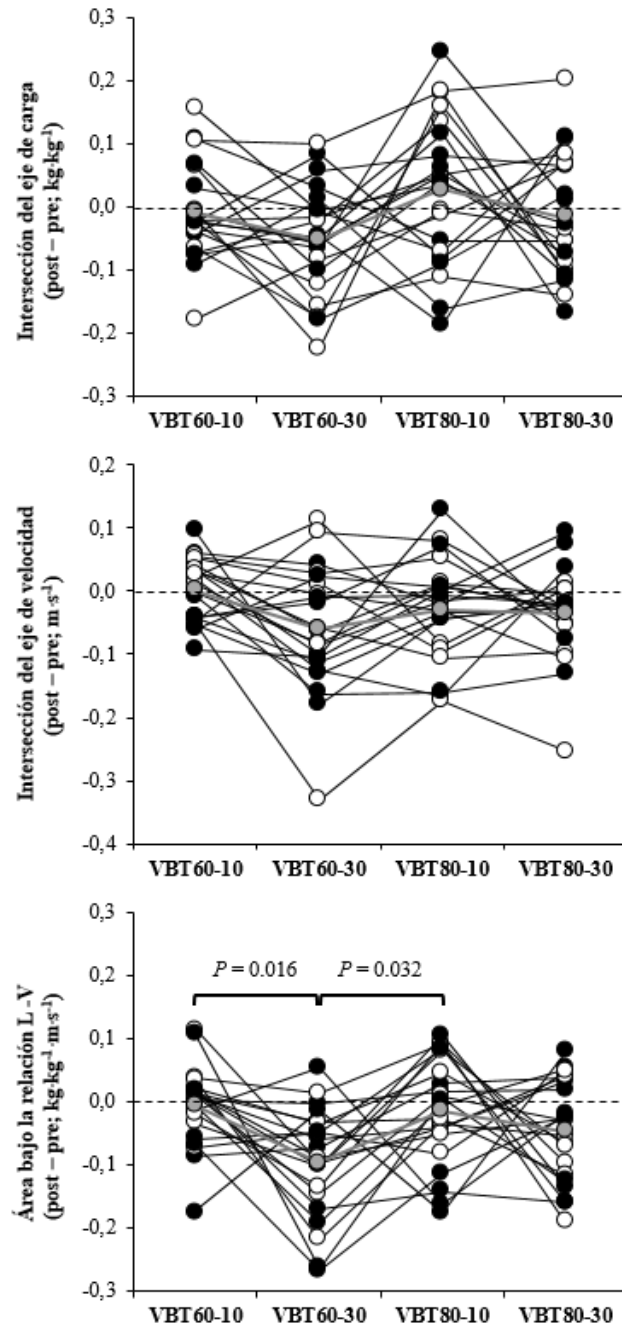


Figura 10. Cambios individuales en la intersección del eje de carga (panel superior), intersección del eje de velocidad (panel central) y área bajo la línea de relación carga-velocidad (L-V) (panel inferior) tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) en hombres (círculos negros) y mujeres (círculos blancos). Los círculos y las líneas grises representan la magnitud de los cambios promediados en todos los sujetos. VBT₆₀₋₁₀, protocolo VBT con un 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con un 60% de

1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%. P, valor P (análisis de varianza con corrección de Bonferroni).

Estudio 3: Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.

○ **Características descriptivas de los protocolos VBT.**

El efecto principal del protocolo fue significativo para el número de repeticiones, MV_{rápida} y la velocidad media ($F_{(3,54)} \geq 46.9$; $p < 0.001$). Sólo se registró un efecto principal significativo de las series para MV_{rápida} ($F_{(2,36)} = 4.3$; $p = 0.021$). Por último, la interacción protocolo $\times$ sexo para MV_{rápida} y la velocidad media ($F_{(3,54)} = 5.8$ y 4.9 ; $p = 0.002$ y 0.005 , respectivamente) y la interacción protocolo $\times$ series para la velocidad media ($F_{(6,108)} = 3.9$; $p = 0.002$) también alcanzaron significación estadística (**Tabla 9**).

Tabla 9. Comparación del número de repeticiones, la velocidad más rápida y la velocidad media entre protocolos, números de series y sexos.

Variable	Número de serie	Sexo	VBT ₆₀₋₁₀	VBT ₆₀₋₃₀	VBT ₈₀₋₁₀	VBT ₈₀₋₃₀	ANOVA	
							Efectos principales	Interacciones
Número de repeticiones	1	Hombre	9.5 ± 4.0	18.6 ± 5.4	5.9 ± 1.2	9.4 ± 3.6	Pr: $F_{(3,54)} = 49.6; p < 0.001$ Ser: $F_{(2,36)} = 0.9; p = 0.426$ Sex: $F_{(1,19)} = 0.1; p = 0.755$	Pr × Ser: $F_{(6,108)} = 3.2; p = 0.028$ Pr × Sex: $F_{(3,54)} = 0.2; p = 0.906$ Ser × Sex: $F_{(2,36)} = 1.8; p = 0.181$ Pr × Ser × Sex: $F_{(6,108)} = 1.8; p = 0.116$
		Mujer	7.4 ± 2.6	17.1 ± 2.6	7.3 ± 3.1	9.6 ± 3.6		
	2	Hombre	9.8 ± 3.2	17.3 ± 4.9	5.9 ± 2.3	8.9 ± 3.5		
		Mujer	10.0 ± 6.3	19.7 ± 7.2	5.1 ± 2.7	7.7 ± 2.2		
	3	Hombre	10.1 ± 3.9	15.4 ± 4.8	4.5 ± 1.8	7.8 ± 3.2		
		Mujer	12.0 ± 8.2	18.0 ± 8.2	5.1 ± 2.8	8.0 ± 3.3		
MV _{rápida} (m·s ⁻¹)	1	Hombre	0.76 ± 0.07	0.73 ± 0.07	0.54 ± 0.06	0.55 ± 0.07	Pr: $F_{(3,54)} = 80.9; p < 0.001$ Ser: $F_{(2,36)} = 4.3; p = 0.021$ Sex: $F_{(1,19)} = 4.4; p = 0.051$	Pr × Ser: $F_{(6,108)} = 1.7; p = 0.129$ Pr × Sex: $F_{(3,54)} = 5.8; p = 0.002$ Ser × Sex: $F_{(2,36)} = 0.9; p = 0.432$ Pr × Ser × Sex: $F_{(6,108)} = 0.8; p = 0.584$
		Mujer	0.67 ± 0.03	0.67 ± 0.05	0.57 ± 0.07	0.52 ± 0.05		
	2	Hombre	0.77 ± 0.07	0.70 ± 0.06	0.55 ± 0.04	0.53 ± 0.07		
		Mujer	0.67 ± 0.07	0.66 ± 0.05	0.56 ± 0.07	0.50 ± 0.05		
	3	Hombre	0.76 ± 0.06	0.69 ± 0.06	0.53 ± 0.06	0.53 ± 0.05		
		Mujer	0.67 ± 0.06	0.64 ± 0.04	0.57 ± 0.05	0.52 ± 0.04		
Velocidad media (m·s ⁻¹)	1	Hombre	0.70 ± 0.06	0.63 ± 0.06	0.48 ± 0.05	0.47 ± 0.06	Pr: $F_{(3,54)} = 84.5; p < 0.001$ Ser: $F_{(2,36)} = 1.4; p = 0.260$ Sex: $F_{(1,19)} = 2.5; p = 0.132$	Pr × Ser: $F_{(6,108)} = 3.9; p = 0.002$ Pr × Sex: $F_{(3,54)} = 4.9; p = 0.005$ Ser × Sex: $F_{(2,36)} = 0.2; p = 0.791$ Pr × Ser × Sex: $F_{(6,108)} = 1.1; p = 0.348$
		Mujer	0.62 ± 0.02	0.59 ± 0.05	0.52 ± 0.07	0.45 ± 0.04		
	2	Hombre	0.71 ± 0.06	0.62 ± 0.06	0.49 ± 0.04	0.45 ± 0.05		
		Mujer	0.63 ± 0.05	0.58 ± 0.05	0.51 ± 0.07	0.45 ± 0.04		
	3	Hombre	0.71 ± 0.06	0.61 ± 0.06	0.48 ± 0.05	0.45 ± 0.04		
		Mujer	0.64 ± 0.05	0.56 ± 0.06	0.51 ± 0.06	0.46 ± 0.05		

Los datos se presentan como medias ± desviaciones estándar. MV_{rápida}, velocidad media más rápida; VBT₆₀₋₁₀, protocolo de entrenamiento basado en la velocidad (VBT) con un 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con 60% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%;

VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con 80% 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con 80%1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; ANOVA, análisis de la varianza; F, F de Snedecor; Pr, protocolo; Ser, Serie; Sex, Sexo.

Las comparaciones por pares revelaron que (i) el número de repeticiones aumentaba a medida que se reducía la carga relativa y aumentaba el umbral de pérdida de velocidad ($p \leq 0.008$; $ES \geq 0.75$), aunque no se observaron diferencias entre VBT₆₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p = 0.100$; $ES = 0.23$), (ii) $MV_{\text{rápida}}$ fue mayor para VBT₆₀₋₁₀ y VBT₆₀₋₃₀ que para VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p < 0.001$; $ES \geq 1.49$), sin diferencias significativas para las mismas cargas relativas ($p \leq 0.096$; $ES \leq 0.58$), (iii) la velocidad media fue mayor para VBT₆₀₋₁₀, seguida de VBT₆₀₋₃₀, VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p \leq 0.001$; $ES \geq 1.04$), aunque no se registraron diferencias entre VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p = 0.081$; $ES = 0.56$), (iv) $MV_{\text{rápida}}$ fue mayor en la primera serie que en la tercera ($p = 0.031$; $ES = 0.34$), sin diferencias significativas con respecto a la segunda serie ($p \geq 0.233$; $ES \leq 0.20$), (v) $MV_{\text{rápida}}$ fue significativamente mayor para VBT₆₀₋₁₀, seguida de VBT₆₀₋₃₀, VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p \leq 0.009$; $ES \geq 0.68$), aunque no se registraron diferencias entre VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ para hombres ($p = 0.081$; $ES = 0.02$) y VBT₆₀₋₁₀ y VBT₆₀₋₃₀ para mujeres ($p = 0.772$; $ES = 0.30$), (vi) la velocidad media fue significativamente mayor para VBT₆₀₋₁₀, seguida de VBT₆₀₋₃₀, VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ ($p \leq 0.013$; $ES \geq 0.66$), aunque no se registraron diferencias entre VBT₈₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₃₀ para los hombres ($p = 0.329$; $ES = 0.35$), y (vii) la velocidad media fue comparable entre series para cada protocolo ($p \geq 0.135$; $ES \leq 0.48$), excepto para VBT₆₀₋₁₀, donde fue significativamente menor para la tercera serie que para la primera y la segunda ($p = 0.007$; $ES = 0.79$).

○ Rendimiento VAM.

No se registraron diferencias significativas para la FC máxima ($F_{(4,76)} = 1.7$; $p = 0.164$) y la CR-10 ($\chi^2_{(4, N = 20)} = 4.2$; $p = 0.378$) entre protocolos ($RTT = 188 \pm 13$ bpm y 8.9 ± 0.5 ; $VBT_{60-10}+RTT = 188 \pm 14$ bpm y 8.7 ± 0.5 ; $VBT_{60-30}+RTT = 186 \pm 10$ bpm y 8.8 ± 0.6 ; $VBT_{80-10}+RTT = 190 \pm 10$ bpm y 8.7 ± 0.4 ; $VBT_{80-30}+RTT = 187 \pm 11$ bpm y 8.9 ± 0.6 , respectivamente). Se observó un efecto principal significativo del protocolo ($F_{(4,72)} = 7.3$; $p < 0.001$) y del sexo ($F_{(1,18)} = 8.3$; $p = 0.010$) en el

rendimiento de la VAM. En cambio, la interacción protocolo $\times$ sexo no alcanzó significación estadística ($F_{(4,72)} = 1.0$; $p = 0.422$). Los efectos principales revelaron que la VAM era significativamente mayor i) para RTT que $\text{VBT}_{60-30} + \text{RTT}$ ($p < 0.001$; $\text{ES} = 1.71$; $\Delta = 3.8\%$), $\text{VBT}_{60-10} + \text{RTT}$ ($p = 0.006$; $\text{ES} = 0.93$; $\Delta = 2.8\%$), $\text{VBT}_{80-10} + \text{RTT}$ ($p = 0.008$; $\text{ES} = 0.93$; $\Delta = 2.7\%$), y $\text{VBT}_{80-30} + \text{RTT}$ ($p = 0.019$; $\text{ES} = 0.77$; $\Delta = 1.9\%$) (**Figura 11**), y ii) para los hombres que para las mujeres ($p = 0.010$; $\text{ES} = 1.34$; $\Delta = 13.0\%$).

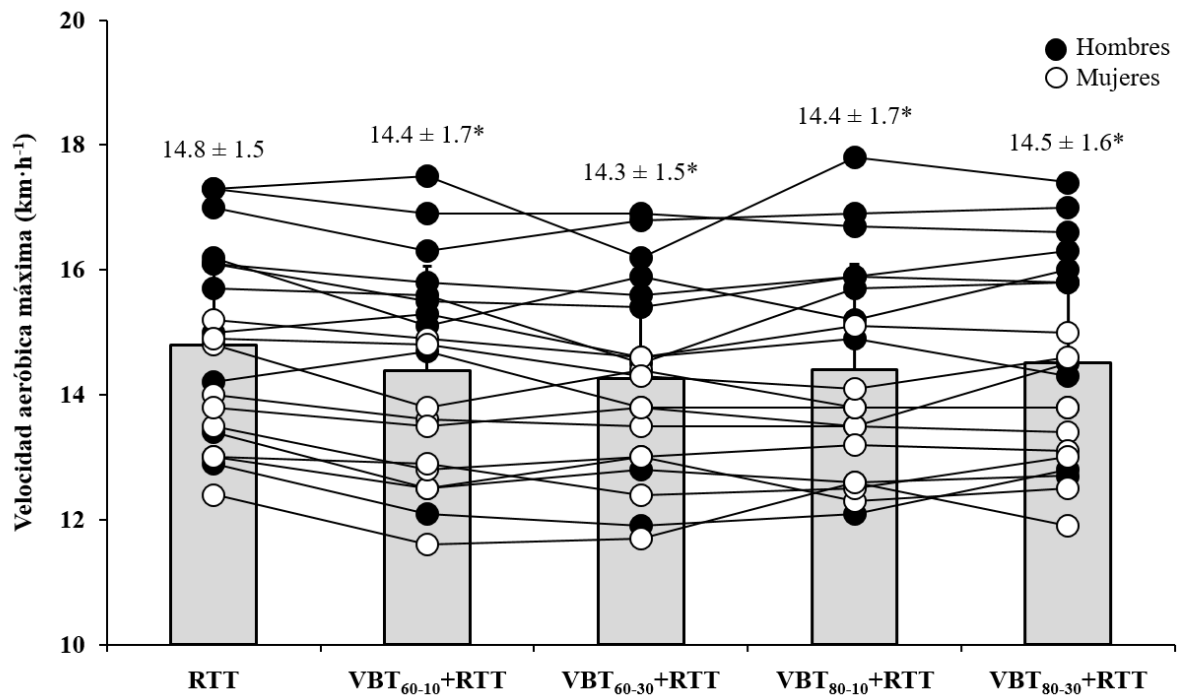


Figura 11. Comparación de la velocidad aeróbica máxima entre protocolos. Los datos se representan como media y desviación estándar, mientras que cada punto representa los datos individuales de cada hombre (círculos negros) y mujer (círculos blancos). RTT, prueba de carrera en pista; $\text{VBT}_{60-10} + \text{RTT}$, entrenamiento basado en la velocidad (VBT) con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10% seguida de RTT; $\text{VBT}_{60-30} + \text{RTT}$, VBT con el 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30% seguida de RTT; $\text{VBT}_{80-10} + \text{RTT}$, VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10% seguida de RTT; $\text{VBT}_{80-30} + \text{RTT}$, VBT con el 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30% seguida de RTT. *,

significativamente inferior al RTT ($p < 0.05$; análisis de la varianza con corrección de Bonferroni).

Tabla 10. Resumen resultados.

Estudio	Resultados
<i>Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.</i>	El sistema neuromuscular aumentó progresivamente su implicación en la determinación del rendimiento en carrera a medida que aumentaba la intensidad. En concreto, nuestros resultados revelaron que el rendimiento en la prueba de 10km no mostró una correlación significativa con ninguna cualidad de fuerza. Por el contrario, el rendimiento en la prueba de 9 minutos mostró una correlación negativa con 2 cualidades de fuerza (L_0 y A_{line}). Además, se observó que el rendimiento en la prueba de 3 minutos estaba correlacionado negativamente (L_0 y A_{line}) y positivamente (F_0 , $P_{máx}$ y v_{0V}) con 5 cualidades de fuerza. Estos resultados no sólo facilitaron la diferenciación del rendimiento en carrera entre sexos en las contrarrelojes de 9 minutos y 3 minutos, sino que también destacaron cualidades de fuerza únicas dentro de cada grupo.
<i>Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.</i>	i) Las tres variables de relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}) presentaron una fiabilidad aceptable en cuatro sesiones sucesivas, ii) tanto v_0 como A_{line} se redujeron tras los protocolos VBT ₆₀₋₃₀ y VBT ₈₀₋₃₀ , siendo la puntuación

	de cambio de A_{line} mayor para VBT ₆₀₋₃₀ que para VBT ₆₀₋₁₀ y VBT ₈₀₋₁₀ , iii) los cambios en las variables de la relación L-V fueron comparables entre sexos, y iv) la puntuación de cambio para cada variable de la relación L-V no se asoció entre los diferentes protocolos VBT.
<i>Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.</i>	En comparación con la condición de control (RTT solo), la VAM se vio agudamente comprometida tras los cuatro protocolos diferentes de VBT. Independientemente del sexo, el VBT ₆₀₋₃₀ + RTT deterioró la VAM en mayor medida que los protocolos VBT ₆₀₋₁₀ + RTT, VBT ₈₀₋₁₀ + RTT y VBT ₈₀₋₃₀ + RTT. Estos resultados sugieren que, independientemente del sexo, el rendimiento en carrera (VAM) se ve perjudicado cuando va precedido de VBT, especialmente si las series de entrenamiento se realizan con una carga relativa baja (60% 1RM) y un umbral de pérdida de velocidad alto (30%).

L_0 , intersección del eje de carga; A_{line} , área bajo la línea de relación L-V; F_0 , fuerza máxima teórica; $P_{máx}$, potencia máxima ($P_{máx} = F_0 \times v_0/4$); v_{0V} , intersección del eje de velocidad vertical; v_0 , intersección del eje de velocidad; VBT₆₀₋₁₀, protocolo de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT) con el 60% de una repetición máxima (1RM) y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₆₀₋₃₀, protocolo VBT con un 60% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; VBT₈₀₋₁₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 10%; VBT₈₀₋₃₀, protocolo VBT con un 80% de 1RM y una pérdida de velocidad en la serie del 30%; L-V, relación carga-velocidad; RTT, prueba de carrera en pista; VAM, velocidad aeróbica máxima; 1RM, una repetición máxima.

5. DISCUSIÓN.

A continuación, se discuten los resultados de cada estudio que compone la presente Tesis Doctoral con respecto a los hallazgos previos reportados en la literatura científica:

Estudio 1: *Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.*

Este estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre las cualidades de fuerza y el rendimiento en carreras de resistencia a diferentes intensidades en un grupo de corredores recreativos, tanto hombres como mujeres. Apoyando nuestra hipótesis, el sistema neuromuscular aumentó progresivamente su implicación en la determinación del rendimiento en carrera a medida que aumentaba la intensidad. En concreto, nuestros resultados revelaron que el rendimiento en la prueba de 10km no mostró una correlación significativa con ninguna cualidad de fuerza. Por el contrario, el rendimiento en la prueba de 9 minutos mostró una correlación negativa con 2 cualidades de fuerza (L_0 y A_{line}). Además, se observó que el rendimiento en la prueba de 3 minutos estaba correlacionado negativamente (L_0 y A_{line}) y positivamente (F_0 , $P_{máx}$ y v_{0v}) con 5 cualidades de fuerza. Estos resultados no sólo facilitaron la diferenciación del rendimiento en carrera entre sexos en las pruebas de contrarreloj de 9 minutos y 3 minutos, sino que también destacaron cualidades de fuerza únicas dentro de cada grupo.

En cuanto al rendimiento en la prueba de 10 km, no se registraron correlaciones significativas, excepto en el caso de las mujeres, que mostraron una correlación negativa con v_{0H} y $P_{máx}$. Tras controlar la principal variable fisiológica que determina el rendimiento (es decir, $VO_{2máx}$) (Evans et al., 1995), se esperaba que las cualidades de fuerza significativamente correlacionadas fueran indicativas de la eficiencia mecánica requerida por los corredores para esa prueba. En este sentido, valores más altos en las variables del perfil F-V horizontal podrían ser el resultado de una forma de correr adecuada en términos de una correcta aplicación de la fuerza (es decir, magnitud, dirección y sincronización) (Morin et al., 2011). Aunque se han descrito correlaciones positivas entre el tiempo de sprint de 30 m y el rendimiento de resistencia (Paavolainen et al., 2000), las mujeres presentaron una correlación negativa. Esta relación podría

revelar otros aspectos neuromusculares, como la composición del tipo de fibra muscular. En este sentido, Inbar et al. (1981) informaron que el esprint de 40 metros y el rendimiento en 2000 metros estaba relacionado positiva y negativamente con el porcentaje de fibras de contracción rápida, respectivamente. Por lo tanto, en este caso parece que las características neuromusculares que mejoran v_{0H} no apoyan las demandas aeróbicas de una distancia de 10 km.

Con respecto a las pruebas de 9 y 3 minutos, L_0 y A_{line} se asociaron negativamente con el rendimiento en ambas; mientras que v_{0V} , F_0 y $P_{m\acute{a}x}$ se sumaron a esta última, asociándose positivamente. Como era de esperar, la necesidad de generar fuerzas mayores en periodos más cortos de tiempo, implicó relaciones superiores de las cualidades de fuerza con el rendimiento en carrera. Sin embargo, nuestros resultados enfatizan su papel con respecto a su orientación. Por un lado, las relaciones negativas de las variables del perfil L-V vertical (es decir, L_0 y A_{line}) son congruentes con el coste de correr orientado al soporte de la masa corporal. En este sentido, Heise y Martin (2001) observaron que aquellos atletas que mostraban mayores requerimientos de soporte en sus formas de carrera, representados por el impulso vertical neto, presentaban una demanda metabólica superior a la de sus compañeros. Por otro lado, el v_{0V} fue el único parámetro orientado verticalmente que se asoció positivamente con el rendimiento, lo que puede ser un indicativo de la capacidad de los corredores para utilizar su ciclo de estiramiento-acortamiento del mecanismo de resorte-masa (Burns et al., 2021). Por último, como ya se ha mencionado, los patrones de carrera requeridos para alcanzar valores mayores en el perfil F-V horizontal pueden estar reflejando una coordinación intramuscular superior para producir movimientos eficaces orientados a la propulsión hacia delante. Factores como un ángulo de impacto más pronunciado, mayor rigidez o menor variabilidad en el movimiento, que determinan un mejor rendimiento en sprints (Moura et al., 2024), también están presentes en los corredores de medias distancias (Burns et al., 2021).

Estudio 2: Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.

Este estudio se diseñó para explorar la viabilidad de las variables de relación L-V para monitorizar los cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas de la parte

inferior del cuerpo tras diferentes protocolos VBT (VBT₆₀₋₁₀ vs. VBT₆₀₋₃₀ vs. VBT₈₀₋₁₀ vs. VBT₈₀₋₃₀) en corredores recreacionales masculinos y femeninos. Los principales resultados revelaron que i) las tres variables de relación L-V (L_0 , v_0 y A_{line}) presentaron una fiabilidad aceptable en cuatro sesiones sucesivas, ii) tanto v_0 como A_{line} se redujeron tras los protocolos VBT₆₀₋₃₀ y VBT₈₀₋₃₀, siendo la puntuación de cambio de A_{line} mayor para VBT₆₀₋₃₀ que para VBT₆₀₋₁₀ y VBT₈₀₋₁₀, iii) los cambios en las variables de la relación L-V fueron comparables entre sexos, y iv) la puntuación de cambio para cada variable de la relación L-V no se asoció entre los diferentes protocolos VBT.

Existe un debate científico acerca de la fiabilidad de los resultados de la relación F-V para evaluar las capacidades neuromusculares máximas obtenidas durante tareas de rendimiento máximo multiarticular (Samozino et al., 2022). La fiabilidad de los parámetros de la relación F-V depende de factores como las características de los participantes (por ejemplo, la experiencia en la tarea) y los procedimientos de prueba (Fessl et al., 2022; Lindberg et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2020). En particular, la distancia de la variable de interés al punto experimental más cercano es una característica clave para obtener los parámetros de la relación F-V con fiabilidad y precisión (García-Ramos et al., 2023). Dado que los datos de fuerza se incorporan al modelado, en los ejercicios de entrenamiento de fuerza realizados contra la gravedad (por ejemplo, salto con contramovimiento), la fiabilidad de los parámetros de la relación F-V se ve comprometida por la gran extrapolación desde el último punto experimental hasta v_0 (Pérez-Castilla et al., 2021). Como alternativa metodológica puede utilizarse la relación L-V en lugar de la relación F-V (Iglesias-Soler et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2021; Pérez-Castilla et al., 2022). De hecho, los resultados actuales corroboran la alta fiabilidad de las tres variables derivadas de la relación L-V para evaluar las capacidades mecánicas máximas de los músculos de la parte inferior del cuerpo en ocasiones sucesivas, en línea con estudios anteriores (Pérez-Castilla et al., 2022; Pérez-Castilla et al., 2023), y apoyando nuestra primera hipótesis. Además, la relación L-V se obtuvo a partir del método de dos puntos aplicado en condiciones de campo. Este hallazgo confirma la alta fiabilidad entre sesiones del método de los dos puntos observada por Miras-Moreno et al. (2023) durante el ejercicio de remo en banco prono realizado en una máquina Smith. En resumen, los resultados actuales aportan pruebas adicionales de que el método de los dos puntos es un procedimiento sencillo, rápido y fiable para determinar las capacidades mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo a través de la relación L-V.

Las variables de la relación L-V (L_0 , v_0 , A_{line}) pueden utilizarse para evaluar la fatiga mecánica en todo el espectro de velocidades tras un esfuerzo físico (García-Ramos et al., 2018; Morenas-Aguilar et al., 2023; Quidel-Catrilelbún et al., 2024). Esta aplicación práctica se basa en estudios que demuestran la alta sensibilidad de la relación F-V para detectar selectivamente cambios agudos en la función de los músculos de la parte superior del cuerpo (García-Ramos et al., 2018) y de la parte inferior (Li et al., 2024) tras diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza. Aplicando este novedoso enfoque, se rechazó nuestra segunda hipótesis, ya que la reducción de A_{line} fue más predominante en los protocolos VBT de alta repetición (VBT_{60-30} y VBT_{80-30}) con deterioro selectivo de v_0 en lugar de L_0 . Además, la puntuación de cambio de A_{line} fue mayor para VBT_{60-30} que para VBT_{60-10} y VBT_{80-10} . Este hallazgo es contrario a los resultados reportados por Quidel-Catrilelbun et al. (2024). Los autores (Quidel-Catrilelbún et al., 2024) determinaron la relación L-V durante el ejercicio de remo en banco prono para cuantificar la fatiga inducida por los mismos protocolos VBT (VBT_{60-10} , VBT_{60-30} , VBT_{80-10} y VBT_{80-30}) en remeros de competición. El remo se caracteriza por un perfil F-V orientado a la fuerza (Giroux et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2023), mientras que la carrera se caracteriza por un perfil F-V orientado a la velocidad (Sabater Pastor et al., 2023), lo que sugiere capacidades mecánicas máximas dependientes del deporte. Además, el deterioro de las capacidades neuromusculares máximas puede depender de la selección del ejercicio (es decir, remo en banco prono vs. CMJ) (de-Oliveira et al., 2023). Asimismo, en el estudio de Quidel-Catrilelbun et al. (2024), la relación L-V se determinó después de cada protocolo VBT y de una contrarreloj de 2000 m en ergómetro de remo. Por lo tanto, aunque la relación L-V parece ser sensible para detectar cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas específicas tras diferentes protocolos de VBT en diferentes disciplinas deportivas (por ejemplo, remo, carrera), es necesario que futuros estudios confirmen la idoneidad de este novedoso enfoque en diferentes deportes.

Las mujeres mostraron menor fatigabilidad muscular que los hombres (Rissanen et al., 2022; Walker et al., 2022), probablemente debido a la menor masa muscular y a la mayor superficie muscular total de fibras de tipo I (Nuzzo et al., 2023). Sin embargo, rechazando nuestra tercera hipótesis, los cambios en el perfil L-V fueron comparables entre sexos. Este resultado coincide con el mismo número de repeticiones totales registrado para hombres y mujeres que entrenan con la misma pérdida de velocidad. Dado que los sujetos no entrenados en fuerza parecen informar de un mayor daño muscular y

atenuación que los sujetos entrenados en fuerza (Skurvydas et al., 2011), parece lógico especular que la mayor fuerza muscular registrada en el presente estudio para los hombres (1RM en sentadilla trasera en relación con la masa corporal = 1.8 frente a 1.5) se ha visto compensada por la menor fatigabilidad atribuida en la literatura para las mujeres. Futuros estudios deberían explorar el impacto agudo y crónico de diferentes protocolos VBT en hombres y mujeres con un estado de entrenamiento y un historial similares para arrojar más luz sobre esta cuestión.

Estudio 3: Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.

Este estudio se diseñó para examinar el efecto agudo de cuatro protocolos diferentes de VBT (VBT₆₀₋₁₀ + RTT, VBT₆₀₋₃₀ + RTT, VBT₈₀₋₁₀ + RTT, y VBT₈₀₋₃₀ + RTT) sobre la VAM estimada a partir de un RTT en hombres y mujeres entrenados de forma recreacional. Los resultados revelaron que, en comparación con la condición de control (RTT solo), la VAM se vio agudamente comprometida tras los cuatro protocolos diferentes de VBT. Independientemente del sexo, el VBT₆₀₋₃₀ + RTT deterioró la VAM en mayor medida que los protocolos VBT₆₀₋₁₀ + RTT, VBT₈₀₋₁₀ + RTT y VBT₈₀₋₃₀ + RTT. Estos resultados sugieren que, independientemente del sexo, el rendimiento en carrera (VAM) se ve perjudicado cuando va precedido de VBT, especialmente si las series de entrenamiento se realizan con una carga relativa baja (60% 1RM) y un umbral de pérdida de velocidad alto (30%).

El principal punto fuerte de este estudio ha sido la implementación de la metodología VBT durante las sesiones de entrenamiento de fuerza. En primer lugar, los sujetos recibían información sobre la velocidad inmediatamente después de cada repetición. Esto es de suma importancia, ya que se ha propuesto que proporcionar feedback sobre la velocidad es una estrategia efectiva para aumentar la calidad (es decir, la velocidad de movimiento) de las sesiones de entrenamiento orientadas a la fuerza (Weakley et al., 2019). En segundo lugar, se utilizaron las relaciones L-V individualizadas para ajustar la intensidad de la carga a la disposición diaria de los individuos para entrenar. En línea con investigaciones previas (Quidel-Catrilelbún et al., 2024), la velocidad más rápida difería significativamente entre cargas relativas, pero no

para la misma carga relativa. Hay que tener en cuenta que, mientras que la precisión de los métodos tradicionales puede verse afectada por las fluctuaciones diarias normales de los niveles de fuerza (Jiménez-Reyes et al., 2021), los perfiles individualizados de L-V proporcionan una gran estabilidad para prescribir la intensidad del entrenamiento de fuerza (Banyard et al., 2018). En tercer lugar, se han propuesto los umbrales de pérdida de velocidad como una alternativa más objetiva y homogénea para controlar la proximidad al fallo durante las series de entrenamiento de fuerza sin fallo (p. ej., los sujetos pueden completar el ~60% del número máximo posible de repeticiones cuando alcanzan el 30% de pérdida de velocidad durante las series de sentadilla trasera realizadas con un 60% de 1RM) (Rodríguez-Rosell et al., 2020). Cabe destacar que, aunque la pérdida de velocidad objetivo suele determinarse a partir de la velocidad más rápida alcanzada en cada serie de entrenamiento (Nájera-Ferrer et al., 2021; Sánchez-Moreno et al., 2021), en el presente estudio se utilizó la repetición más rápida de la primera serie para guiar la finalización de las series. Al igual que Quidel-Catrilelbún et al. (2024), hemos observado que la velocidad más rápida era mayor en la primera serie que en la tercera. Por lo tanto, si se hubiera tomado como criterio la velocidad más rápida de cada serie, los sujetos habrían estado cada vez más cerca del fallo muscular en las series sucesivas. Los profesionales deben tener en cuenta este aspecto metodológico a la hora de comparar diferentes estudios de VBT.

El fenómeno RT-SEP sugiere que la fatiga neural y metabólica derivada de sesiones previas de entrenamiento de fuerza puede comprometer la calidad de las sesiones de entrenamiento de resistencia posteriores y, en consecuencia, inducir adaptaciones subóptimas de resistencia (Doma et al., 2017). En consonancia con investigaciones anteriores (Doma & Deakin, 2013; Doma & Deakin, 2014; Doma & Deakin, 2015), nuestros resultados aportan más evidencia de que el rendimiento en carrera (es decir, la VAM) se ve comprometido cuando va precedido de una sesión de entrenamiento de fuerza. Este fenómeno puede estar relacionado con varios mecanismos, entre los que se incluyen (pero no se limitan a) (i) patrones de reclutamiento neural alterados, (ii) eficiencia de movimiento reducida, (iii) aumento del daño y el dolor muscular, y (iv) reducción del glucógeno muscular (Doma et al., 2017; Doma et al., 2019). Sin embargo, el RT-SEP es un fenómeno complejo condicionado por múltiples variables de entrenamiento, incluyendo la intensidad y el volumen del entrenamiento de fuerza como moduladores de interferencia aguda (Doma et al., 2019). De hecho, respaldando nuestra

hipótesis, la VAM se vio comprometida en mayor medida cuando se utilizó una carga relativa baja (60% 1RM) junto con un umbral alto de pérdida de velocidad (30%) en la serie. Este hallazgo concuerda parcialmente con los resultados de Quidel-Catrilelbún et al. (2024), quienes reportaron un mayor deterioro en el rendimiento en la prueba de remoergómetro cuando era precedido por protocolos VBT con alta pérdida de velocidad en la serie (30% > 10%), independientemente de la intensidad (60% = 80% 1RM). Estas discrepancias en cuanto al efecto de la carga relativa con el estudio de Quidel-Catrilelbún et al. (2024) podrían explicarse en parte por el indicador de rendimiento de resistencia (VAM estimada a partir de RTT vs. prueba de tiempo de 2000 m en remoergómetro), o por el nivel de la muestra del estudio (adultos entrenados de forma recreacional vs. remeros de competición). Más específicamente, los grupos musculares implicados (sentadilla trasera en nuestro estudio vs. remo en banco prono en el estudio de Quidel-Catrilelbún et al. (2024)) pueden explicar las posibles diferencias entre los estudios. De hecho, nuestros resultados están en línea con Nájera-Ferrer et al. (2021), quienes informaron de un mayor detrimento del rendimiento en carrera cuando los sujetos completaban tres series de sentadilla completa al 60% 1RM con una magnitud de pérdida de velocidad del 40%, pero no del 20%. Por lo tanto, no es sorprendente que, debido a los mayores niveles de fatiga y a las tasas más lentas de recuperación, se haya informado de una mayor VAM tras un programa concurrente de carrera y VBT con un umbral de pérdida de velocidad más bajo en la serie (15% frente a 45%) (Sánchez-Moreno et al., 2021).

Se ha demostrado que los hombres tienen mayor masa muscular y mayor proporción de fibras de tipo II que las mujeres (Nuzzo, 2023). Estas diferencias entre sexo podrían explicar la menor fatigabilidad muscular de las mujeres en comparación con los hombres (Nuzzo, 2023). Rissanen et al. (2022) observaron recientemente que las mujeres requieren una mayor pérdida de velocidad (40%) que los hombres para maximizar las ganancias de fuerza y potencia tras un programa de entrenamiento de fuerza de ocho semanas. Más específicamente, Taipale et al. (2014) informaron de una mayor fatiga, en términos de disminución de la fuerza máxima y explosiva, en los hombres que en las mujeres tras una sesión de entrenamiento concurrente. En desacuerdo con esos estudios (Rissanen et al., 2022; Taipale et al., 2014), se rechazó nuestra hipótesis, ya que los hombres no solo reportaron un número comparable de repeticiones durante los protocolos VBT, sino también un deterioro comparable del rendimiento de la VAM después de los

protocolos VBT que las mujeres. Es posible especular que la menor fatigabilidad muscular en las mujeres puede verse compensada por la mayor fuerza muscular (1RM de sentadilla en relación con la masa corporal = 1.8 vs. 1.6) y $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (46 vs. 37 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) registrada en los hombres. Cabe destacar que las investigaciones han informado de que los individuos no entrenados en fuerza presentan una mayor magnitud de daño muscular y atenuación de la función muscular que los individuos entrenados en fuerza (Skurvydas et al., 2011). En conjunto, nuestros resultados sugieren que existe un deterioro comparable del rendimiento en carrera (VAM) inmediatamente después del VBT entre hombres y mujeres entrenados de manera recreacional.

6. CONCLUSIONES.

La conclusión general de la presente Tesis Doctoral en respuesta al objetivo establecido, sugiere que el nivel de implicación de las prestaciones neuromusculares en el rendimiento del corredor de resistencia es mayor a medida que aumenta la intensidad de carrera, aspecto que se ha observado a través de la prueba de 10km y las pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos.

Por otro lado, en referencia a la gestión de las cargas de entrenamiento de fuerza en la preparación física del corredor de resistencia, se sugiere adoptar un enfoque cauteloso al implementar sesiones de entrenamiento de fuerza con baja carga (p. ej., 60% 1RM) y alto volumen (p. ej., 30% de umbral de pérdida de velocidad en la serie), ya que el rendimiento de resistencia en carrera puede reducirse de forma aguda, lo que podría afectar a las adaptaciones a largo plazo. En cambio, la implementación de sesiones de entrenamiento de fuerza con cargas altas (p. ej., 80% 1RM) y volumen controlado (p. ej., 10% de umbral de pérdida de velocidad en la serie), podrían ofrecer mejores resultados en el rendimiento de los corredores de resistencia masculinos y femeninos.

Las conclusiones específicas para cada uno de los estudios que componen la presente Tesis Doctoral fueron:

Estudio 1: Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different Intensities in Recreational Men and Women Runners.

Del rango de pruebas neuromusculares utilizadas (es decir, tirón isométrico a media altura del muslo, salto en caída, perfil F-V horizontal y perfil L-V vertical) para evaluar cada cualidad de fuerza (es decir, fuerza isométrica máxima, fuerza explosiva, fuerza reactiva, fuerza dinámica rápida y pesada), los resultados revelaron que sus relaciones con el rendimiento en carrera eran específicas a la intensidad probada. En concreto, el rendimiento en 10 km no mostró una correlación significativa con ninguna de las cualidades de fuerza examinadas. Sin embargo, el rendimiento en las carreras de 9 y 3 minutos se relacionó inversamente con L_0 , A_{line} , mientras que el rendimiento de 3 minutos también se asoció positivamente con v_{0V} , F_0 y $P_{máx}$. Estas correlaciones no sólo facilitaron la diferenciación del rendimiento en carrera entre sexos en las pruebas de contrarreloj de 9 y 3 minutos, sino que también destacaron cualidades de fuerza únicas dentro de cada grupo. En consecuencia, estos resultados proporcionan información valiosa para los profesionales en términos de cómo poner a prueba las capacidades neuromusculares de sus atletas, qué variables deben priorizarse y su relación con el rendimiento en carrera. En concreto, los perfiles verticales y horizontales (L-V y F-V) parecen ser procedimientos factibles, que requieren instrumentos de bajo coste y un procesamiento eficiente en el tiempo, y la mayoría de sus componentes (es decir, L_0 , F_0 , $P_{máx}$, A_{line} y v_{0V}) revelan aspectos significativos del rendimiento en carrera.

Estudio 2: Reliability and Acute Changes in the Load-Velocity Profile Following Different Velocity-Based Resistance Training Protocols in Recreational Runners.

Los entrenadores y los profesionales de la fuerza y el acondicionamiento deben tratar la fatiga residual inducida por las sesiones de entrenamiento de fuerza para atenuar el fenómeno RT-SEP en los corredores. Nuestros datos corroboran la alta fiabilidad entre sesiones de las variables de relación L-V obtenidas en condiciones de campo para evaluar las variables mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo a lo largo de sesiones

sucesivas. Aunque la relación L-V es fiable y sensible a los protocolos VBT de alta repetición, su uso para detectar cambios agudos en las capacidades mecánicas máximas de la parte inferior del cuerpo se caracteriza por una gran variabilidad en las respuestas individuales.

Estudio 3: Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance.

El entrenamiento de fuerza puede mejorar el rendimiento en carrera. Sin embargo, deben tenerse en cuenta varias variables de prescripción para minimizar el fenómeno RT-SEP durante los programas de entrenamiento concurrente. Nuestros resultados revelaron un deterioro del rendimiento en carrera (VAM estimado a partir del RTT) cuando iba precedido por diferentes protocolos de VBT en magnitud de carga (60% vs. 80% 1RM) y pérdida de velocidad en la serie (10% vs. 30%). Este efecto de interferencia aguda fue comparable entre hombres y mujeres entrenados de forma recreacional. Además, la mayor disminución de la VAM se observó tras el VBT realizado con una carga relativa baja (60% 1RM) junto con un umbral de pérdida de velocidad alto (30%). Por lo tanto, los profesionales que deseen optimizar el rendimiento en carrera al mismo tiempo que incorporan el entrenamiento de fuerza en los programas de entrenamiento de atletas de resistencia, deberían evitar altos volúmenes de repeticiones para reducir la susceptibilidad al RT-SEP. De hecho, una reciente revisión sistemática con metaanálisis (Nugent et al., 2023) indicó que el entrenamiento de fuerza con altas repeticiones puede no resultar en una mejora del rendimiento en atletas de resistencia competitivos durante un período de cuatro a doce semanas, aunque una sesión de entrenamiento de fuerza con altas repeticiones induce altas demandas fisiológicas (concentración de lactato en sangre $> 8.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) y perceptivas (calificación del esfuerzo percibido ≥ 17). Por lo tanto, independientemente del sexo, los atletas de resistencia deberían adoptar un enfoque cauteloso al implementar sesiones de entrenamiento de fuerza con baja carga (p. ej., 60% 1RM) y alto volumen (p. ej., 30% de umbral de pérdida de velocidad en la serie), ya que el rendimiento de resistencia en carrera puede reducirse de forma aguda, lo que podría afectar a las adaptaciones a largo plazo. En cambio, las sesiones de VBT con mayor carga (p. ej., 80% 1RM) y volumen controlado (p. ej., 10% de umbral de pérdida de velocidad

en la serie), podrían ofrecer mejores resultados en el rendimiento de los corredores de resistencia masculinos y femeninos.

7. LIMITACIONES.

Las limitaciones generales de la propia Tesis Doctoral deben ser reconocidas:

Por un lado, el nivel de la muestra, en términos de rendimiento en carrera y entrenamiento de fuerza. En este sentido, se trata de una muestra de cohorte recreativa, un perfil que representa a la mayoría de la población de corredores de resistencia. No obstante, futuros estudios podrían abordar esta cuestión en corredores de distintos niveles de rendimiento, lo que abriría una nueva línea de investigación.

Por otro lado, debemos señalar que no se ha llevado a cabo una intervención para aplicar los hallazgos obtenidos en los distintos estudios transversales. Explorar este aspecto en futuras investigaciones permitiría evaluar su impacto y abriría una nueva línea de investigación.

A continuación, se presentan las limitaciones específicas de cada uno de los estudios que componen la presente Tesis Doctoral:

En cuanto a la muestra reclutada en el primer estudio, cabe señalar que la fuerza de las asociaciones podría estar limitada debido a que se trata de una cohorte recreativa. Una muestra más diversa probablemente habría mejorado la capacidad de estas variables para distinguir el rendimiento en carrera. Sin embargo, el rango de rendimiento de 40:00 a 55:00 proporciona evidencia de que sus capacidades neuromusculares contribuyen a diferenciar el rendimiento en carrera. Del mismo modo, se debe tener cuidado al extrapolar estos resultados a otras cohortes de rendimiento.

En cuanto al segundo estudio, se debe actuar con cautela al interpretar los hallazgos actuales, debido a la alta variabilidad interindividual observada cuando se analizó la puntuación de cambio de cada variable de relación L-V entre los diferentes protocolos VBT (véase la **Figura 10**). Li et al. (2024) informaron de los cambios individuales en la relación F-V vertical tras un protocolo tradicional de carga pesada (cinco repeticiones al 80% de 1RM) y balístico de carga ligera (cinco repeticiones al 30% de 1RM). Estos autores (Li et al., 2024) indicaron que los sujetos aumentaban o

disminuían F_0 y v_0 tras los protocolos balístico de carga ligera y tradicional de carga pesada, respectivamente. Esta alta variabilidad interindividual se observó a pesar de que Li et al. (2024) utilizaron un procedimiento de prueba más controlado para determinar la relación F-V (sentadilla con salto bajo cuatro condiciones de carga) que el utilizado en el presente estudio para determinar la relación L-V (CMJ bajo dos condiciones de carga). Por lo tanto, a diferencia de estudios anteriores (García-Ramos et al., 2018; Li et al., 2024), no podemos confirmar la viabilidad del perfil F-V para detectar efectos agudos de diferentes protocolos de fatiga, ya que la respuesta individual parece ser muy variable, es decir, el mismo sujeto puede experimentar fatiga o potenciación después de protocolos VBT con características similares.

Por último, centrándonos en el tercer estudio, hay que tener en cuenta el estado de entrenamiento y el historial de nuestra muestra antes de generalizar los resultados de este estudio cruzado. Por ejemplo, Walker et al. (2022) revelaron que los hombres eran más susceptibles a la pérdida aguda de la capacidad de producción de fuerza tras diferentes protocolos de VBT, pero no había indicios de que las mujeres se fatigaran menos tras la intervención de ocho semanas basada en la velocidad. En segundo lugar, hemos examinado el impacto de la fatiga inducida por el entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia tras un único entrenamiento de fuerza. En este sentido, Doma et al. (2015) informaron que la magnitud del aumento de los marcadores de daño muscular se redujo tras un segundo entrenamiento de fuerza en corredores no entrenados en fuerza y, por lo tanto, se ha especulado que sesiones repetidas de entrenamiento de fuerza durante el entrenamiento concurrente podrían minimizar el RT-SEP (Doma et al., 2017). Por último, es importante destacar que los sujetos realizaron ambas modalidades de entrenamiento (VBT y RTT) en la misma sesión. Investigaciones previas (Robineau et al., 2016) han informado de que la magnitud del aumento del $VO_{2\text{máx}}$ era mayor cuando el entrenamiento de fuerza y de resistencia aeróbica se realizaba en días alternos con 24 horas de recuperación, en comparación con ambas modalidades de entrenamiento realizadas en la misma sesión con y sin seis horas de recuperación, lo que sugiere que el efecto de interferencia depende del periodo de recuperación, aunque también debe tenerse en cuenta la influencia de las variables del entrenamiento (Doma et al., 2017).

8. APLICACIONES PRÁCTICAS.

En relación al primer estudio de la Tesis Doctoral, nuestros resultados proporcionan información valiosa para los profesionales en términos de cómo poner a prueba las capacidades neuromusculares de sus atletas, qué variables deben priorizarse y su relación con el rendimiento en carrera. En concreto, los perfiles verticales y horizontales (L-V y F-V) parecen ser procedimientos factibles, que requieren instrumentos de bajo coste y un procesamiento eficiente en el tiempo, y la mayoría de sus componentes (es decir, L_0 , F_0 , $P_{máx}$, A_{line} y v_{0V}) revelan aspectos significativos del rendimiento en carrera.

Con respecto al segundo estudio de la Tesis Doctoral, se ha podido observar una alta variabilidad interindividual, es decir, un mismo sujeto puede experimentar fatiga o potenciación después de protocolos VBT con características similares. En este sentido, se recomiendan procedimientos alternativos para evaluar los cambios inducidos por la fatiga en corredores. Por ejemplo, la fuerza isométrica (contracciones voluntarias máximas de los extensores de la rodilla y los flexores plantares) se deteriora 2-3 veces más que los parámetros de la relación F-V (esprints máximos de 7 segundos en un cicloergómetro) tras carreras de trail running de entre 40 y 170 km (Koral et al., 2022).

Por último, en referencia al tercer estudio de la Tesis Doctoral, independientemente del sexo, los atletas de resistencia deberían adoptar un enfoque cauteloso al implementar sesiones de entrenamiento de fuerza con baja carga (p. ej., 60% 1RM) y alto volumen (p. ej., 30% de umbral de pérdida de velocidad en la serie), ya que el rendimiento en resistencia en carrera puede reducirse de forma aguda, lo que podría afectar a las adaptaciones a largo plazo. En cambio, las sesiones de VBT con mayor carga (p. ej., 80% 1RM) y volumen controlado (p. ej., 10% de umbral de pérdida de velocidad en la serie), podrían ofrecer mejores resultados en el rendimiento de los corredores de resistencia masculinos y femeninos.

9. PERSPECTIVAS DE FUTUROS ESTUDIOS.

Una vez finalizada la presente Tesis Doctoral, las perspectivas de futuro son claras:

En primer lugar, los estudios desarrollados en esta Tesis Doctoral han contado con una muestra de corredores de cohorte recreativa, un perfil representativo de la mayoría

de la población de corredores de resistencia. No obstante, futuros estudios podrían ampliar esta línea de investigación incluyendo muestras de distintos niveles de rendimiento, tanto en términos de rendimiento en carrera como de entrenamiento de fuerza. Esto permitiría analizar posibles diferencias y generalizar mejor los hallazgos a otros perfiles de corredores.

En segundo lugar, sería conveniente examinar la relación entre los cambios en el perfil L-V y F-V y ciertos marcadores de estrés metabólico (por ejemplo, lactato; amoníaco) para obtener una comprensión más completa de los mecanismos subyacentes observados en el segundo estudio de la Tesis Doctoral.

Por último, en la presente Tesis Doctoral no se ha llevado a cabo una intervención para aplicar los hallazgos obtenidos en los distintos estudios transversales. Explorar este aspecto en futuras investigaciones permitiría evaluar su impacto y abriría una nueva línea de investigación.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 39-47.
- Alcaraz-Ibañez, M., & Rodríguez-Pérez, M. (2018). Effects of resistance training on performance in previously trained endurance runners: A systematic review. *Journal of sports sciences*, 36(6), 613-629.
- Baena-Raya, A., Díez-Fernández, D. M., García-de-Alcaraz, A., Soriano-Maldonado, A., Pérez-Castilla, A., & Rodríguez-Pérez, M. A. (2024). Assessing the Maximal Mechanical Capacities Through the Load-Velocity Relationship in Elite Versus Junior Male Volleyball Players. *Sports Health*, 16(5), 829-836.
- Baena-Raya, A., Díez-Fernández, D. M., García-Ramos, A., Soriano-Maldonado, A., & Rodríguez-Pérez, M. A. (2023). Concurrent validity and reliability of a functional electromechanical dynamometer to assess isometric mid-thigh pull performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 237(3), 197-204.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., & Grivas, G. V. (2016). Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(8), 2361-2368.
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Vernon, A. D., & Haff, G. G. (2018). The reliability of individualized load–velocity profiles. *International journal of sports physiology and performance*, 13(6), 763-769.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports medicine-open*, 1, 1-15.
- Barrie, B. (2020). Concurrent resistance training enhances performance in competitive distance runners: a review and programming implementation. *Strength & Conditioning Journal*, 42(1), 97-106.

- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44, 845-865.
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., Rossiter, A., & Kenny, I. C. (2017). The effect of strength training on performance indicators in distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(1), 9-23.
- Besomi, M., Leppe, J., Mauri-Stecca, M. V., Hooper, T. L., & Sizer, P. S. (2019). Training volume and previous injury as associated factors for running-related injuries by race distance: A cross-sectional study. *Journal of Human Sport and Exercise*, 14(3).
- Besson, T., Macchi, R., Rossi, J., Morio, C. Y., Kunimasa, Y., Nicol, C., ... & Millet, G. Y. (2022). Sex differences in endurance running. *Sports medicine*, 52(6), 1235-1257.
- Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J. P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Preventive Cardiology*, 15(6), 726-734.
- Blagrove, R. C., Howatson, G., & Hayes, P. R. (2018). Effects of strength training on the physiological determinants of middle-and long-distance running performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 48, 1117-1149.
- Burns, G. T., Gonzalez, R., Zendler, J. M., & Zernicke, R. F. (2021). Bouncing behavior of sub-four minute milers. *Scientific Reports*, 11(1), 10501.
- Cole, A. S., Woodruff, M. E., Horn, M. P., & Mahon, A. D. (2006). Strength, power, and aerobic exercise correlates of 5-km cross-country running performance in adolescent runners. *Pediatric exercise science*, 18(3), 374-384.
- Comfort, P., Dos' Santos, T., Beckham, G. K., Stone, M. H., Guppy, S. N., & Haff, G. G. (2019). Standardization and methodological considerations for the isometric midthigh pull. *Strength & Conditioning Journal*, 41(2), 57-79.

- Comfort, P., Jones, P. A., McMahon, J. J., & Newton, R. (2015). Effect of knee and trunk angle on kinetic variables during the isometric midthigh pull: Test–retest reliability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 58-63.
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 12(5), 357-360.
- Courel-Ibáñez, J., Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Escribano-Peñas, P., Chavarren-Cabrero, J., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Reproducibility and repeatability of five different technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Annals of Biomedical Engineering*, 47, 1523-1538.
- Cuk, I., Nikolaidis, P. T., Villiger, E., & Knechtle, B. (2021). Pacing in long-distance running: Sex and age differences in 10-km race and marathon. *Medicina*, 57(4), 389.
- de Carvalho e Silva, G. I., Brandão, L. H. A., dos Santos Silva, D., de Jesus Alves, M. D., Aidar, F. J., de Sousa Fernandes, M. S., ... & de Souza, R. F. (2022). Acute neuromuscular, physiological and performance responses after strength training in runners: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 105.
- Souza, K. M. D., Vieira, G., Baldi, M. F., Guglielmo, L. G. A., Lucas, R. D. D., & Denadai, B. S. (2011). Physiological and neuromuscular variables associated to aerobic performance in endurance runners: Effects of the event distance. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 17, 40-44.
- De-Oliveira, L. A., Aragão-Santos, J. C., Heredia-Elvar, J. R., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2023). Movement velocity as an indicator of mechanical fatigue and resistance exercise intensity in cross modalities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(4), 1028-1034.
- Doma, K., Deakin, G. B., & Bentley, D. J. (2017). Implications of impaired endurance performance following single bouts of resistance training: an alternate concurrent training perspective. *Sports Medicine*, 47, 2187-2200.

- Doma, K., Deakin, G. B., Schumann, M., & Bentley, D. J. (2019). Training considerations for optimising endurance development: an alternate concurrent training perspective. *Sports medicine*, 49, 669-682.
- Doma, K., & Deakin, G. B. (2014). The acute effects intensity and volume of strength training on running performance. *European journal of sport science*, 14(2), 107-115.
- Doma, K., & Deakin, G. B. (2013). The effects of combined strength and endurance training on running performance the following day. *International journal of sport and health science*, 11, 1-9.
- Doma, K., & Deakin, G. (2015). The acute effect of concurrent training on running performance over 6 days. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(4), 387-396.
- Doma, K., Schumann, M., Sinclair, W. H., Leicht, A. S., Deakin, G. B., & Häkkinen, K. (2015). The repeated bout effect of typical lower body strength training sessions on sub-maximal running performance and hormonal response. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 1789-1799.
- Evans, S. L., Davy, K. P., Stevenson, E. T., & Seals, D. R. (1995). Physiological determinants of 10-km performance in highly trained female runners of different ages. *Journal of applied physiology*, 78(5), 1931-1941.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Fessl, I., Wiesinger, H. P., & Kröll, J. (2022). Power–Force–Velocity profiling as a function of used loads and task experience. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(5), 694-700.
- García-Pinillos, F., Lago-Fuentes, C., Jaén-Carrillo, D., Bujalance-Moreno, P., Latorre-Román, P. Á., Roche-Seruendo, L. E., & Ramirez-Campillo, R. (2020). Strength training habits in amateur endurance runners in Spain: Influence of athletic level. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8184.

- García-Ramos, A., Torrejón, A., Feriche, B., Morales-Artacho, A. J., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Jaric, S. (2018). Selective effects of different fatigue protocols on the function of upper body muscles assessed through the force–velocity relationship. *European journal of applied physiology*, 118, 439-447.
- García-Ramos, A. (2023). The 2-point method: theoretical basis, methodological considerations, experimental support, and its application under field conditions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(10), 1092-1100.
- Giroux, C., Maciejewski, H., Ben-Abdessamie, A., Chorin, F., Lardy, J., Ratel, S., & Rahmani, A. (2017). Relationship between force-velocity profiles and 1,500-m ergometer performance in young rowers. *International journal of sports medicine*, 38(13), 992-1000.
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Medina, L., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2020). Relationship between velocity loss and repetitions in reserve in the bench press and back squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(9), 2537-2547.
- Heise, G. D., & Martin, P. E. (2001). Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *European journal of applied physiology*, 84, 438-442.
- Honert, E. C., Mohr, M., Lam, W. K., & Nigg, S. (2020). Shoe feature recommendations for different running levels: A Delphi study. *PloS one*, 15(7), e0236047.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc*, 41(1), 3.
- Hopkins, W. (2015). Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience*, 19, 36-42.
- Houmard, J. A., Costill, D. L., Mitchell, J. B., Park, S. H., & Chenier, T. C. (1991). The role of anaerobic ability in middle distance running performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62, 40-43.

- Ide, B. N., Leme, T. C., Lopes, C. R., Moreira, A., Dechechi, C. J., Sarraipa, M. F., ... & Macedo, D. V. (2011). Time course of strength and power recovery after resistance training with different movement velocities. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(7), 2025-2033.
- Iglesias-Soler, E., Rial-Vázquez, J., Boullosa, D., Mayo, X., Fariñas, J., Rúa-Alonso, M., & Santos, L. (2021). Load-velocity profiles change after training programs with different set configurations. *International Journal of Sports Medicine*, 42(9), 794-802.
- Inbar, O., Kaiser, P., & Tesch, P. (1981). Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *International journal of sports medicine*, 2(3), 154-159.
- Ingham, S. A., Whyte, G. P., Pedlar, C., Bailey, D. M., Dunman, N., & Nevill, A. M. (2008). Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 345-350.
- James, L. P., Talpey, S. W., Young, W. B., Geneau, M. C., Newton, R. U., & Gastin, P. B. (2023). Strength classification and diagnosis: not all strength is created equal. *Strength & Conditioning Journal*, 45(3), 333-341.
- Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585-1589.
- Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Hernández, J. M., Capelo-Ramírez, F., Martínez-Aranda, L. M., & González-Badillo, J. J. (2021). Differences between adjusted vs. non-adjusted loads in velocity-based training: Consequences for strength training control and programming. *PeerJ*, 9, e10942.
- Jung, A. P. (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Medicine*, 33, 539-552.
- Kakouris, N., Yener, N., & Fong, D. T. (2021). A systematic review of running-related musculoskeletal injuries in runners. *Journal of sport and health science*, 10(5), 513-522.

- Koral, J., Fanget, M., Imbert, L., Besson, T., Kennouche, D., Parent, A., ... & Millet, G. Y. (2021). Fatigue measured in dynamic versus isometric modes after trail running races of various distances. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(1), 67-77.
- Kuipers, H., Rietjens, G. J. W. M., Verstappen, F., Schoenmakers, H., & Hofman, G. (2003). Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *International journal of sports medicine*, 24(7), 486-491.
- Lanferdini, F. J., Silva, E. S., Machado, E., Fischer, G., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2020). Physiological predictors of maximal incremental running performance. *Frontiers in physiology*, 11, 979.
- Lauersen, J. B., Bertelsen, D. M., & Andersen, L. B. (2014). The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British journal of sports medicine*, 48(11), 871-877.
- Li, Z., Zhi, P., Yuan, Z., García-Ramos, A., & King, M. (2024). Feasibility of vertical force–velocity profiles to monitor changes in muscle function following different fatigue protocols. *European Journal of Applied Physiology*, 124(1), 365-374.
- Li, F., Newton, R. U., Shi, Y., Sutton, D., & Ding, H. (2021). Correlation of eccentric strength, reactive strength, and leg stiffness with running economy in well-trained distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(6), 1491-1499.
- Lindberg, K., Solberg, P., Bjørnsen, T., Helland, C., Rønnestad, B., Thorsen Frank, M., ... & Paulsen, G. (2021). Force-velocity profiling in athletes: Reliability and agreement across methods. *PLoS One*, 16(2), e0245791.
- Llanos-Lagos, C., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Sáez de Villarreal, E. (2024). Effect of Strength Training Programs in Middle-and Long-Distance Runners' Economy at Different Running Speeds: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine*, 1-38.
- Lum, D., Chua, K., & Aziz, A. R. (2020). Isometric mid-thigh pull force-time characteristics: a good indicator of running performance. *Journal of Trainology*, 9(2), 54-59.

- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports medicine*, 37(12), 1019-1028.
- Miras-Moreno, S., García-Ramos, A., Jukic, I., & Pérez-Castilla, A. (2023). Two-point method applied in field conditions: a feasible approach to assess the load-velocity relationship variables during the bench pull exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(7), 1367-1374.
- Morenas-Aguilar, M. D., Ruiz-Alias, S. A., Blanco, A. M., Lago-Fuentes, C., García-Pinillos, F., & Pérez-Castilla, A. (2023). Does the Menstrual Cycle Impact the Maximal Neuromuscular Capacities of Women? An Analysis Before and After a Graded Treadmill Test to Exhaustion. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(11), 2185-2191.
- Morgan, D. W., & Craib, M. (1992). Physiological aspects of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(4), 456-461.
- Morin, J. B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680-1688.
- Moura, T. B. M. A., Leme, J. C., Nakamura, F. Y., Cardoso, J. R., & Moura, F. A. (2024). Determinant biomechanical variables for each sprint phase performance in track and field: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 19(1), 488-509.
- Nájera-Ferrer, P., Pérez-Caballero, C., González-Badillo, J. J., & Pareja-Blanco, F. (2021). Effects of exercise sequence and velocity loss threshold during resistance training on following endurance and strength performance during concurrent training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(6), 811-817.
- Nevin, J. (2019). Autoregulated resistance training: does velocity-based training represent the future? *Strength & Conditioning Journal*, 41(4), 34-39.

- Newsholme, E. A. (1986). Application of principles of metabolic control to the problem of metabolic limitations in sprinting, middle-distance, and marathon running. *International journal of sports medicine*, 7, 66-70.
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2020). Force–velocity characteristics and maximal anaerobic power in male recreational marathon runners. *Research in Sports Medicine*, 28(1), 99-110.
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2023). Participation and performance characteristics in half-marathon run: a brief narrative review. *Journal of muscle research and cell motility*, 44(2), 115-122.
- Nikolaidis, P. T., Cuk, I., Clemente-Suárez, V. J., Villiger, E., & Knechtle, B. (2021). Number of finishers and performance of age group women and men in long-distance running: comparison among 10km, half-marathon and marathon races in Oslo. *Research in Sports Medicine*, 29(1), 56-66.
- Nugent, F. J., Flanagan, E. P., Darragh, I., Daly, L., & Warrington, G. D. (2023). The Effects of High-Repetition Strength Training on Performance in Competitive Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(6), 1315-1326.
- Nuzzo, J. L. (2023). Narrative review of sex differences in muscle strength, endurance, activation, size, fiber type, and strength training participation rates, preferences, motivations, injuries, and neuromuscular adaptations. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(2), 494-536.
- Oswald, F., Campbell, J., Williamson, C., Richards, J., & Kelly, P. (2020). A scoping review of the relationship between running and mental health. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8059.
- Overgaard, K., Fredsted, A., Hyldal, A., Ingemann-Hansen, T., Gissel, H., & Clausen, T. (2004). Effects of running distance and training on Ca²⁺ content and damage in human muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(5), 821-829.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86(5), 1527-1533.

- Paavolainen, L., Nummela, A., & Rusko, H. (2000). Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 10(5), 286-291.
- Pallarés, J. G., Cerezuela-Espejo, V., Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Conesa, E., & Courel-Ibáñez, J. (2019). A new short track test to estimate the VO₂max and maximal aerobic speed in well-trained runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1216-1221.
- Pareja-Blanco, F., Walker, S., & Häkkinen, K. (2020). Validity of using velocity to estimate intensity in resistance exercises in men and women. *International Journal of Sports Medicine*, 41(14), 1047-1055.
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A. J., & Feriche, B. (2020). Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution technique. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(4), 1024-1031.
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265.
- Pérez-Castilla, A., Jukic, I., & García-Ramos, A. (2021). Validation of a novel method to assess maximal neuromuscular capacities through the load-velocity relationship. *Journal of Biomechanics*, 127, 110684.
- Pérez-Castilla, A., Jukic, I., Janicijevic, D., Akyildiz, Z., Senturk, D., & García-Ramos, A. (2022). Load-velocity relationship variables to assess the maximal neuromuscular capacities during the back-squat exercise. *Sports Health*, 14(6), 885-893.
- Pérez-Castilla, A., Quidel-Catrilébún, M. E. L., Rodríguez-Pérez, M. A., & García-Ramos, A. (2023). Association of the load-velocity relationship variables with 2000-m rowing ergometer performance. *European Journal of Sport Science*, 23(5), 736-745.

- Pérez-Castilla, A., Ramirez-Campillo, R., Fernandes, J. F., & García-Ramos, A. (2023). Feasibility of the 2-point method to determine the load– velocity relationship variables during the countermovement jump exercise. *Journal of sport and health science*, 12(4), 544-552.
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method: optimization of the load selection. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1245-1253.
- Peterson, B., Hawke, F., Spink, M., Sadler, S., Hawes, M., Callister, R., & Chuter, V. (2022). Biomechanical and musculoskeletal measurements as risk factors for running-related injury in non-elite runners: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sports medicine-open*, 8(1), 38.
- Podvigina, T. T., Yarushkina, N. I., & Filaretova, L. P. (2022). Effects of Running on the Development of Diabetes and Diabetes-Induced Complications. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 58(1), 174-192.
- Predel, H. G. (2014). Marathon run: cardiovascular adaptation and cardiovascular risk. *European heart journal*, 35(44), 3091-3098.
- Pueo, B., Penichet-Tomas, A., & Jimenez-Olmedo, J. (2020). Reliability and validity of the Chronojump open-source jump mat system. *Biology of sport*, 37(3), 255-259.
- Quidel-Catrilelbún, M. E. L., Ruiz-Alias, S. A., García-Pinillos, F., Ramirez-Campillo, R., & Pérez-Castilla, A. (2024). Acute effect of different velocity-based training protocols on 2000-meter rowing ergometer performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(1), e8-e15.
- Rabadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B., & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle-and long-distance runners. *Journal of sports sciences*, 29(9), 975-982.
- Raghunandan, A., Charnoff, J. N., & Matsuwaka, S. T. (2021). The epidemiology, risk factors, and nonsurgical treatment of injuries related to endurance running. *Current sports medicine reports*, 20(6), 306-311.

- Ramírez-Campillo, R., Andrade, D. C., García-Pinillos, F., Negra, Y., Boullosa, D., & Moran, J. (2021). Effects of jump training on physical fitness and athletic performance in endurance runners: a meta-analysis: jump training in endurance runners. *Journal of sports sciences*, 39(18), 2030-2050.
- Rissanen, J., Walker, S., Pareja-Blanco, F., & Häkkinen, K. (2022). Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations? *European journal of applied physiology*, 122(5), 1269-1280.
- Robineau, J., Babault, N., Piscione, J., Lacome, M., & Bigard, A. X. (2016). Specific training effects of concurrent aerobic and strength exercises depend on recovery duration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 672-683.
- Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., ... & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *European journal of sport science*, 17(4), 386-392.
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603-612.
- Ruiz-Alias, S. A., Olaya-Cuartero, J., Ñancupil-Andrade, A. A., & García-Pinillos, F. (2022). 9/3-minute running critical power test: mechanical threshold location with respect to ventilatory thresholds and maximum oxygen uptake. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(7), 1111-1118.
- Ruiz-Alias, S. A., Ñancupil-Andrade, A. A., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2024). Running Critical Power and W' : Influence of the Environment, Timing and Time Trial Order. *International Journal of Sports Medicine*, 45(04), 309-315.
- Sabater Pastor, F., Besson, T., Berthet, M., Varesco, G., Kennouche, D., Dandrieux, P. E., ... & Millet, G. Y. (2023). Elite Road vs. trail runners: comparing economy, biomechanics, strength, and power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(1), 181-186.

- Samozino, P., Rivière, J. R., Jimenez-Reyes, P., Cross, M. R., & Morin, J. B. (2022). Is the concept, method, or measurement to blame for testing error? An illustration using the force-velocity-power profile. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(12), 1760-1768.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(6), 648-658.
- Sánchez-Moreno, M., Rodríguez-Rosell, D., Díaz-Cueli, D., Pareja-Blanco, F., & González-Badillo, J. J. (2021). Effects of velocity loss threshold within resistance training during concurrent training on endurance and strength performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(6), 849-857.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports medicine*, 34, 465-485.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 947-954.
- Schubert, A. G., Kempf, J., & Heiderscheit, B. C. (2014). Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports health*, 6(3), 210-217.
- Skurvydas, A., Brazaitis, M., Venck nas, T., Kamandulis, S., Stanislovaitis, A., & Zuoza, A. (2011). The effect of sports specialization on musculus quadriceps function after exercise-induced muscle damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36(6), 873-880.
- Southey, B., Willshire, M., Connick, M. J., Austin, D., Spits, D., & Beckman, E. (2024). Reactive strength index as a key performance indicator in different athlete populations—a systematic review. *Science & Sports*, 39(2), 129-143.
- Stanton, R., Kean, C. O., & Scanlan, A. T. (2015). My Jump for vertical jump assessment. *British Journal of Sports Medicine*, 49(17), 1157-1158.

- Taipale, R. S., Schumann, M., Mikkola, J., Nyman, K., Kyröläinen, H., Nummela, A., & Häkkinen, K. (2014). Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: the “order effect” in recreationally endurance trained runners. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1155-1164.
- Videbæk, S., Bueno, A. M., Nielsen, R. O., & Rasmussen, S. (2015). Incidence of running-related injuries per 1000 h of running in different types of runners: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 45, 1017-1026.
- Walker, S., Häkkinen, K., Virtanen, R., Mane, S., Bachero-Mena, B., & Pareja-Blanco, F. (2022). Acute neuromuscular and hormonal responses to 20 versus 40% velocity loss in males and females before and after 8 weeks of velocity-loss resistance training. *Experimental Physiology*, 107(9), 1046-1060.
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31-49.
- Weakley, J. J., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A., ... & Jones, B. (2019). Visual feedback attenuates mean concentric barbell velocity loss and improves motivation, competitiveness, and perceived workload in male adolescent athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(9), 2420-2425.
- Weakley, J., Black, G., McLaren, S., Scantlebury, S., Suchomel, T. J., McMahon, E., ... & Read, D. B. (2024). Testing and profiling athletes: recommendations for test selection, implementation, and maximizing information. *Strength & Conditioning Journal*, 46(2), 159-179.

11. ANEXOS

Se adjuntan los siguientes anexos:

- ANEXO 1: Documentos presentados y aprobados por el Comité de Ética de Investigación Humana de la Universidad de Granada.
- ANEXO 2: Currículum Vitae del doctorando.

ANEXO 1:

Documentos presentados y aprobados por el Comité de Ética de Investigación
Humana de la Universidad de Granada



COMITE DE ETICA EN INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

La Comisión de Ética en Investigación de la Universidad de Granada, visto el informe preceptivo emitido por la Presidenta del Comité en Investigación Humana, tras la valoración colegiada del Comité en sesión plenaria, en el que se hace constar que la investigación propuesta respeta los principios establecidos en la legislación internacional y nacional en el ámbito de la biomedicina, la biotecnología y la bioética, así como los derechos derivados de la protección de datos de carácter personal,
Emite un Informe Favorable en relación a la investigación titulada: 'OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN CORREDORES DE RESISTENCIA MEDIANTE DIFERENTES METODOLOGÍAS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA.' que dirige AITOR MARCOS BLANCO, con NIF 45.138.239-A, quedando registrada con el nº: 3274/CEIH/2023.

Granada, a 07 de Febrero de 2023.

HERRERA
VIEDMA
ENRIQUE -
26478489S

Firmado digitalmente
por HERRERA VIEDMA
ENRIQUE - 26478489S
Fecha: 2023.02.09
11:58:53 +01'00'

EL PRESIDENTE
Fdo: Enrique Herrera Viedma

EL SECRETARIO
Fdo: Francisco Javier O'Valle Ravassa

CONSENTIMIENTO INFORMADO 1

Título del proyecto: Optimización del rendimiento en corredores de resistencia mediante diferentes metodologías de entrenamiento de fuerza.

Objetivo del estudio: Analizar los determinantes metabólicos, fisiológicos, antropométricos y neuromusculares que determinan el rendimiento en corredores de resistencia.

Yo, (nombre y apellidos), con D.N.I. nº..... he hablado con los profesionales responsables del estudio: Aitor Marcos Blanco, Felipe García Pinillos y Alejandro Pérez Castilla.

Declaro:

He leído la Hoja de Información al Participante que se me ha entregado.

Se me han explicado las características y el objetivo del estudio y sus posibles beneficios y riesgos del mismo.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He contado con el tiempo y la oportunidad para realizar preguntas y plantear dudas. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción.

Se me ha asegurado que se mantendrá la confidencialidad de mis datos.

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- 1) Cuando quiera.
- 2) Sin tener que dar explicaciones.
- 3) Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Fecha

Firma del participante

Fecha

Firma de los profesionales responsables del estudio y

D.N.I.

INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE 1

Título del Proyecto: Optimización del rendimiento en corredores de resistencia mediante diferentes metodologías de entrenamiento de fuerza.

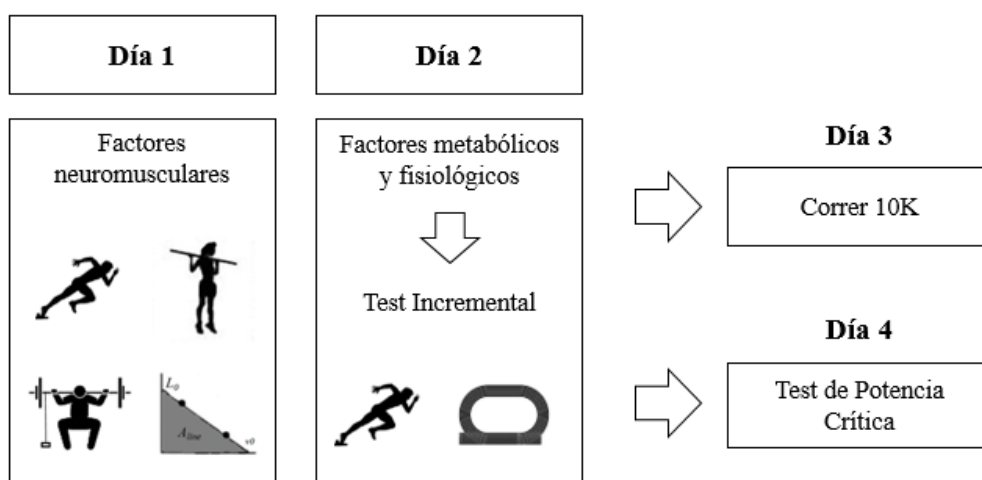
Objetivo del estudio presente: Analizar los determinantes metabólicos, fisiológicos, antropométricos y neuromusculares que determinan el rendimiento en corredores de resistencia.

Justificación: Centrándonos en el rendimiento deportivo, que es el objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral, debemos conocer cuáles son los predictores claves que van a determinar el rendimiento del atleta en una carrera de fondo, entre los que destacan el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$), la economía de carrera, los factores de potencia muscular (por ejemplo, la velocidad asociada al $VO_{2\text{máx}}$) y las características neuromusculares (Alcaraz-Ibañez & Rodríguez-Pérez, 2018; Lanferdini et al., 2020). En nuestro caso, analizaremos el rendimiento en pista utilizando un analizador de gases (en condiciones reales, con su alta aplicabilidad), es decir, fuera del entorno de laboratorio en los que se han estado realizando.

Metodología a realizar: Para este estudio, llevaremos a cabo 4 sesiones de evaluación. La primera sesión estará destinada a la evaluación de factores neuromusculares. Para ello, realizaremos las siguientes pruebas:

- Drop Jump (DJ) con el dispositivo Chronojump.
- Sprint de 30 metros utilizando la aplicación “MySprint”.
- Mid-thigh pull (fuerza isométrica) con la Dynasystem.
- Sentadillas y salto vertical utilizando el T-Force.

La segunda evaluación estará destinada a los factores metabólicos y fisiológicos, llevando a cabo un Test Incremental en la pista de atletismo utilizando un analizador de gases. En la tercera evaluación, realizaremos un 10K en la pista de atletismo con los dispositivos Stryd (potenciómetro de carrera), Banda Polar H10 y Reloj Garmin. Por último, en la cuarta sesión, llevaremos a cabo un Test de Potencia Crítica con los mismos dispositivos que en el 10K.



Participación voluntaria: La participación en el presente estudio es voluntaria, pudiendo retirarse en cualquier momento del mismo, por cualquier razón y sin que tenga ningún efecto sobre su tratamiento médico futuro.

Confidencialidad y protección de datos: De acuerdo a la Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal.

Bibliografía:

- Alcaraz-Ibañez, M., & Rodríguez-Pérez, M. (2018). Effects of resistance training on performance in previously trained endurance runners: A systematic review. *Journal of sports sciences*, 36(6), 613-629.
- Lanferdini, F. J., Silva, E. S., Machado, E., Fischer, G., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2020). Physiological predictors of maximal incremental running performance. *Frontiers in Physiology*, 979.

CONSENTIMIENTO INFORMADO 2

Título del proyecto: Optimización del rendimiento en corredores de resistencia mediante diferentes metodologías de entrenamiento de fuerza.

Objetivo del estudio: Examinar la influencia que tiene la intensidad y el volumen prescrito a partir del entrenamiento basado en la velocidad sobre el rendimiento en carrera.

Yo, (nombre y apellidos), con D.N.I. nº..... he hablado con los profesionales responsables del estudio: Aitor Marcos Blanco, Felipe García Pinillos y Alejandro Pérez Castilla.

Declaro:

He leído la Hoja de Información al Participante que se me ha entregado.

Se me han explicado las características y el objetivo del estudio y sus posibles beneficios y riesgos del mismo.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He contado con el tiempo y la oportunidad para realizar preguntas y plantear dudas. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción.

Se me ha asegurado que se mantendrá la confidencialidad de mis datos.

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- 1) Cuando quiera.
- 2) Sin tener que dar explicaciones.
- 3) Sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Fecha

Firma del participante

Fecha

Firma de los profesionales responsables del estudio y

D.N.I.

INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE 2

Título del Proyecto: Optimización del rendimiento en corredores de resistencia mediante diferentes metodologías de entrenamiento de fuerza.

Objetivo del estudio presente: Examinar la influencia que tiene la intensidad y el volumen prescrito a partir del entrenamiento basado en la velocidad sobre el rendimiento en carrera.

Justificación: Con respecto al entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución, nos va a permitir controlar la intensidad a la que el sujeto está trabajando. Esto se realiza a través de su perfil carga-velocidad, es decir, conoceremos a qué velocidad de ejecución le corresponde cada carga relativa (comúnmente expresada como un porcentaje de la una repetición máxima [%RM]) (Sanchez-Medina et al., 2010). Del mismo modo, podemos controlar el volumen, determinado por el porcentaje de pérdida de velocidad permitido en la serie, ya que dicha pérdida de velocidad es un indicador válido para cuantificar la fatiga neuromuscular en el entrenamiento de fuerza (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Se han llevado a cabo estudios previos que utilizan esta metodología para observar el efecto del entrenamiento de fuerza sobre el de resistencia (o a la inversa) y para cuantificar la fatiga, indicando que una mayor pérdida de velocidad durante la serie (40%) y una menor carga relativa (60% 1RM) dieron como resultado una mayor fatiga y una tasa de recuperación más lenta que una menor pérdida de velocidad (20%) y una mayor carga relativa (80% 1RM) (Pareja-Blanco et al., 2019). Sin embargo, no hay estudios que comparen los efectos de diferentes porcentajes de pérdida sobre el rendimiento deportivo, en nuestro caso destinado a corredores de resistencia.

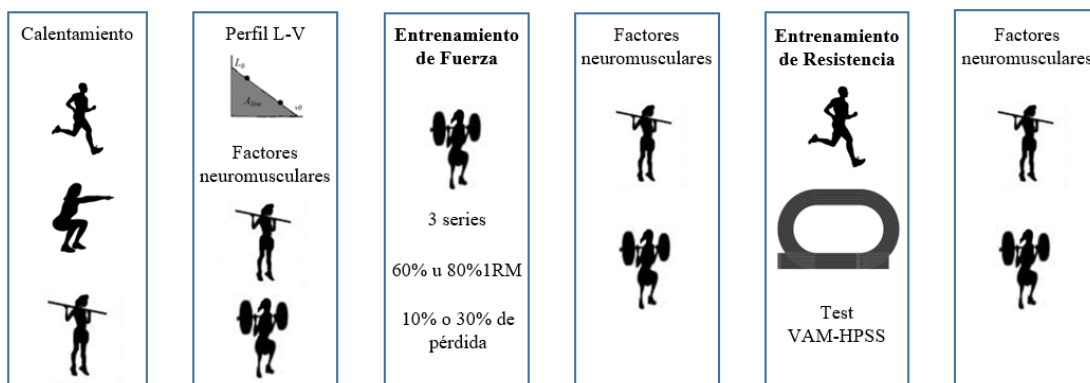
Metodología a realizar: Comenzaremos con un calentamiento general formado por carrera continua, movilidad articular, saltos y sentadillas. Posteriormente, evaluaremos el perfil carga-velocidad del participante en el ejercicio de sentadilla completa, para estimar su carga de entrenamiento (60%1RM u 80%1RM) y su carga correspondiente a 0,55 m/s. Además, evaluaremos los factores neuromusculares, formados por 3 saltos verticales con contramovimiento (CMJ) máximos y 2 sentadillas con la carga de 0,55 m/s.

A continuación, para el entrenamiento de fuerza, se ejecutarán 3 series de sentadilla completa al 60%1RM u 80%1RM permitiendo un 10% o 30% de pérdida de velocidad dentro de la serie. Una vez finalicemos esta parte, volveremos a evaluar los factores neuromusculares para observar el efecto del entrenamiento sobre dichas variables.

Por último, para el entrenamiento de resistencia, llevaremos a cabo un calentamiento específico para, posteriormente, realizar un Test VAM-HPSS. Para finalizar, volveremos a evaluar los factores neuromusculares para observar los efectos de la sesión de entrenamiento.

El Test VAM-HPSS finaliza cuando:

- El individuo no alcanza la marca en el momento del pitido en dos conos seguidos y es forzado a concluir por el técnico.
- El individuo decide voluntariamente que ha alcanzado su máximo esfuerzo y, por lo tanto, ya no sigue corriendo.
- El participante percibe alguna anomalía física que deberá comunicar inmediatamente a los técnicos de la prueba y detener el esfuerzo.



Participación voluntaria: La participación en el presente estudio es voluntaria, pudiendo retirarse en cualquier momento del mismo, por cualquier razón y sin que tenga ningún efecto sobre su tratamiento médico futuro.

Confidencialidad y protección de datos: De acuerdo a la Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal.

Bibliografía:

- Pareja-Blanco, F., Villalba-Fernández, A., Cornejo-Daza, P. J., Sánchez-Valdepeñas, J., & González-Badillo, J. J. (2019). Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. *Sports*, 7(3), 59.
- Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Med Sci Sport Exerc.* 2011;43(9):1725-1734.
- Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *Int J Sports Med.* 2010;31(2):123-129.

ANEXO 2:

Curriculum Vitae del doctorando

I. Participación en Proyectos de Investigación.

1. **Proyecto:** Factores determinantes de la potencia crítica y del rendimiento en pruebas de carrera de 3.000 y 10.000 metros lisos.

- **Referencia:** PPJIA2022-02
- **Organismo:** Universidad de Granada
- **Responsable principal:** Felipe García Pinillos
- **Fecha inicio:** 01/01/2023
- **Fecha fin:** 31/12/2023
- **Cuantía total:** 1.500€

2. **Proyecto:** Desarrollo de una plataforma digital que permita monitorizar indicadores de rendimiento y salud deportiva para población andaluza involucrada en deporte federado y en programas de ejercicio físico saludable (acrónimo: *AndaMove*).

- **Referencia:** EXP_74829
- **Entidad financiadora:** Convocatoria de Ayudas para Proyectos de Investigación en Ciencia y Tecnología aplicada a la Actividad Física Beneficiosa para la Salud (AFBS) y la Medicina Deportiva”, con cargo a los fondos europeos (NextGenerationEU) del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia» para el año 2022. Organismo: Consejo Superior de Deportes, Ministerio de Cultura y Deporte.
- **Responsable principal:** Víctor Manuel Soto Hermoso.
- **Fecha inicio:** Desde la fecha de resolución definitiva (febrero-2023)
- **Fecha fin:** 30/09/2023
- **Cuantía total:** 155.999€

II. Publicaciones en revistas

1. Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Gijón-Nieto, L. M., **Marcos-Blanco, A.**, & García-Pinillos, F. (2022). Reliability and concurrent validity of the PUSH Band™ 2.0 to measure barbell velocity during the free-weight and Smith machine squat exercises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 236(4), 351-359.

2. Janicijevic, D., García-Ramos, A., Lamas-Cepero, J. L., García-Pinillos, F., **Marcos-Blanco, A.**, Rojas, F. J., Weakley, J., & Pérez-Castilla, A. (2023). Comparison of the two most commonly used gold-standard velocity monitoring devices (GymAware and T-Force) to assess lifting velocity during the free-weight barbell back squat exercise. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 237(3). <https://doi.org/10.1177/17543371211029614>
3. Ruiz-Alias, S. A., **Marcos-Blanco, A.**, Clavero-Jimeno, A., & García-Pinillos, F. (2022). Examining weekly heart rate variability changes: a comparison between monitoring methods. *Sports Engineering*, 25(1). <https://doi.org/10.1007/s12283-022-00371-87>
4. **Marcos-Blanco, A.**, García-Pinillos, F., Molina-Molina, A., Jaén-Carrillo, D., Soto-Hermoso, V. M., & Ruiz-Alias, S. A. (2023). Reliability of the RunScribe™ system to determine kinematic variables of the pelvis during locomotion at different speeds. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 24(3). <https://doi.org/10.37190/abb-02073-2022-03>
5. Morenas-Aguilar, M. D., Ruiz-Alias, S. A., **Marcos-Blanco, A.**, Lago-Fuentes, C., García-Pinillos, F., & Pérez-Castilla, A. (2023). Does the Menstrual Cycle Impact the Maximal Neuromuscular Capacities of Women? An Analysis before and after a Graded Treadmill Test to Exhaustion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(11). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004542>
6. Ruiz-Alias, S. A., Pérez-Castilla, A., **Marcos-Blanco, A.**, Moreno-Ortega, C., Fernández-Navarrete, I., & García-Pinillos, F. (2024). The Variability of the Components of Fitness along the Menstrual Cycle. *International Journal of Sports Medicine*, 45(05). <https://doi.org/10.1055/a-2192-8631>
7. Pérez-Castilla, A., Ruiz-Alias, S. A., Ramirez-Campillo, R., Miras-Moreno, S., García-Pinillos, F., & **Marcos-Blanco, A.** (2024). Acute Effect of Velocity-Based Resistance Training on Subsequent Endurance Running Performance: Volume and Intensity Relevance. *Applied Sciences*, 14(7), 2736.
8. Ruiz-Alias, S. A., **Marcos-Blanco, A.**, Fernández-Navarrete, I., García-Pinillos, F., & Pérez-Castilla, A. (2022). Exploring the Relationship Between Diverse Strength Qualities and Endurance Running Performance Across Different

Intensities in Recreational Men and Women Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10-1519.

9. Ruiz-alias, S. A., **Marcos-Blanco, A.**, Fernández-Navarrete, I., Pérez-Castilla, A., & García-Pinillos, F. (2025). The 9/3 Min Running Test: A Simple and Practical Approach to Estimate the Critical and Maximal Aerobic Power. *European Journal of Sport Science*, 25(2), e12254.

III. Aportaciones en congresos

1. **Título:** Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza en sentadilla completa con tres configuraciones diferentes de la serie (Tradicional vs. Cluster 1 vs. Cluster 2) sobre el rendimiento en la fuerza muscular del tren inferior.
 - **Nombre del congreso:** International Conference on Technology in Physical Activity and Sport (TAPAS).
 - **Tipo de evento:** Comunicación oral (online)
 - **Ámbito:** Internacional
 - **Curso:** 2020/2021
 - **Lugar:** Sevilla
 - **Autores:** Aitor Marcos-Blanco y Beatriz Bachero-Mena.
2. **Título:** Fiabilidad del sistema RunScribe™ para determinar variables cinemáticas de la pelvis durante la marcha y la carrera a diferentes velocidades.
 - **Nombre del congreso:** Congreso Internacional y Nacional acerca del Rendimiento Deportivo, Actividad Física y Salud y experiencias educativas en Educación Física.
 - **Tipo de evento:** Comunicación oral (online)
 - **Ámbito:** Internacional y nacional
 - **Curso:** 2020/2021
 - **Lugar:** Jaén
 - **Autores:** Aitor Marcos-Blanco; Santiago Alejo Ruiz-alias; Felipe García-Pinillos.
3. **Título:** Entrenamiento concurrente: influencia de la secuencia de ejercicios sobre las adaptaciones en los componentes del fitness.
 - **Nombre del congreso:** II Congreso Investigación PTS.

- **Tipo de evento:** Comunicación oral
 - **Ámbito:** Nacional
 - **Curso:** 2021/2022
 - **Lugar:** Granada
 - **Autores:** Santiago Alejo Ruiz-Alias; Emilio José Ruiz-Malagón; **Aitor Marcos-Blanco**; Víctor Manuel Soto-Hermoso; Felipe García-Pinillos.
4. **Título:** Influencia del ciclo menstrual en la fatiga neuromuscular del tren inferior.
- **Nombre del congreso:** 1^{er} Congreso Internacional sobre Optimización del Entrenamiento de Fuerza y Rendimiento Neuromuscular.
 - **Tipo de evento:** Comunicación oral
 - **Ámbito:** Internacional
 - **Curso:** 2022/2023
 - **Lugar:** Granada
 - **Autores:** María Dolores Morenas-Aguilar, Alejandro Pérez-Castilla, Felipe García-Pinillos, Santiago Ruiz-Alias, Iván Fernández Navarrete, Claudia Moreno Ortega, **Aitor Marcos-Blanco**.
5. **Título:** The influence of menstrual cycle phase on maximal neuromuscular capacities of lower-body muscles: a pilot study.
- **Nombre del congreso:** 1^{er} Congreso Internacional sobre Optimización del Entrenamiento de Fuerza y Rendimiento Neuromuscular.
 - **Tipo de evento:** Póster (premio al segundo mejor póster)
 - **Ámbito:** Internacional
 - **Curso:** 2022/2023
 - **Lugar:** Granada
 - **Autores:** **Aitor Marcos-Blanco**, Alejandro Pérez-Castilla, Felipe García-Pinillos, Santiago A. Ruiz-Alias, Iván Fernández Navarrete, Claudia Moreno Ortega, María Dolores Morenas-Aguilar.
6. **Título:** Efecto agudo del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad sobre el rendimiento en carrera posterior: Relevancia del volumen y de la intensidad.
- **Nombre del congreso:** 2^o Congreso Internacional sobre Optimización del Entrenamiento de Fuerza y Rendimiento Neuromuscular.
 - **Tipo de evento:** Comunicación oral
 - **Ámbito:** Internacional

- **Curso:** 2023/2024
- **Lugar:** Madrid
- **Autores:** Alejandro Pérez-Castilla; **Aitor Marcos-Blanco**; Santiago A. Ruiz-
Alias; Rodrigo Ramírez-Campillo; Sergio Miras-Moreno; Felipe García-Pinillos.

IV. Capítulos de libro

1. **Título del capítulo:** Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza en sentadilla completa con tres configuraciones diferentes de la serie (tradicional vs. Cluster 1 vs. Cluster 2) sobre el rendimiento en la fuerza muscular del tren inferior.
 - **Autores:** Aitor Marcos-Blanco y Beatriz Bachero-Mena
 - **Título del libro:** Innovación en Ciencias del Deporte. Aplicaciones tecnológicas desde una visión práctica.
 - **Editorial:** Wanceulen
 - **ISBN:** 978-84-18682-10-0
 - **Año:** 2021

V. Idiomas

1. Certificado B2 (British Council). Fecha de resultados: 18/02/2020.

VI. Otros méritos

1. Curso “Lesiones en rodilla: Prevención, readaptación y reentrenamiento”.
 - **Lugar:** Universidad de Sevilla
 - **Curso:** 2017/2018
2. Prácticas en el Centro Andaluz de Medicina del Deporte.
 - **Lugar:** Universidad de Sevilla
 - **Curso:** 2019/2020
3. Máster de Investigación en Actividad Física y Deporte.
 - **Lugar:** Universidad de Granada
 - **Curso:** 2020/2021
4. Curso de entrenador de baloncesto (Nivel I).

- **Lugar:** Federación Extremeña de Baloncesto (FEXB)
- **Curso:** 2021/2022