



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Universidad de la República (Udelar)
Instituto Superior de Educación Física (ISEF)
Programa de Maestría en Educación Física (ProMEF)

Bruno Andrés Escajal Ceballos

Grupo de Investigación Deporte y Rendimiento (N.º 883101)

Respuestas fisiológicas y percepción de esfuerzo de tres protocolos de entrenamiento intervalado en corredores de fondo

Montevideo, Uruguay

2025

Bruno Andrés Escajal Ceballos

**Respuestas fisiológicas y percepción de esfuerzo de tres protocolos de
entrenamiento intervalado en corredores de fondo**



**UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY**

Director: Dr. Carlos Alberto Magallanes Mira
Prof. Agdo. Dpto. Educación Física y Salud. ISEF – UDELAR.

FICHA DE CATALOGACIÓN DEL TRABAJO

Bruno Andrés Escajal Ceballos

**Respuestas fisiológicas y percepción de esfuerzo de tres protocolos de
entrenamiento intervalado en corredores de fondo**

Tesis presentada al Programa de Maestría en Educación Física de la Universidad de la República, como requisito parcial para obtener el título de Magister en Educación Física.

Área de concentración: Educación Física y Deporte

Aprobada en ciudad, mes del año.

Tribunal compuesto por:

Prof. Dr. Nombre Completo (Director)

Universidad de la República

Prof. Dr. Nombre Completo (Co-Director)(a)

Universidad de la República

Prof. Dr. Nombre Completo (miembro externo)

Universidad de la República

AGRADECIMIENTOS

A Carlos, por tu confianza y apoyo permanente. Gracias por allanar el camino y guiarnos en la posibilidad de construir una carrera académica, investigando y enseñando sobre estos temas que tanto nos apasionan.

Gracias Andrés, y a todo el Grupo Deporte y Rendimiento, es un placer trabajar con ustedes cada día. Nos queda mucho camino por recorrer juntos.

A ISEF, a UdelaR, a ANII y a CSIC, por el apoyo y respaldo institucional.

A Mauricio, compañero de mil batallas, por tus aportes en el estudio y tu apoyo constante.

A Nega, por compartir tu tiempo y experiencia durante la recolección de datos. Gracias por enseñarnos de tu orden y rigurosidad para trabajar.

Gracias a todo el Grupo de Investigación LIEBRE. Especialmente a Mariana, por tu colaboración en el estudio y durante todo el posgrado.

Agradezco especialmente a los atletas y entrenadores que participaron con esfuerzo y entusiasmo en la investigación. Sin ustedes, nada hubiese sido posible. Gracias Patricio por tu destacada colaboración.

Gracias mamá, papá, Mauro y Erika. Gracias Paula.

DEDICATORIA

A Mary, mi abuela, que a fuerza de pasar muchas horas a mi lado estudiando, me transmitió desde niño la pasión por aprender.

“Vos tenés que leer mucho hasta que el tema se te empiece a ordenar solo en la cabeza”

Resumen

Introducción: El entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) es ampliamente utilizado por corredores de fondo, ya que permite acumular más tiempo a intensidades elevadas, en comparación con los métodos continuos, sin incrementar excesivamente la carga total. No obstante, pocos estudios bien controlados han comparado los efectos de distintos protocolos HIIT en corredores altamente entrenados.

Objetivo: Describir y comparar las respuestas fisiológicas, perceptivas y de fatiga aguda inducidas por tres protocolos HIIT que difieren en la duración de los intervalos, pero que son equivalentes en volumen total y relación trabajo/pausa.

Métodos: Veinte corredores de fondo entrenados (10 hombres y 10 mujeres, 31.4 ± 5.4 años) realizaron tres sesiones HIIT en pista: (1) protocolo de entrenamiento largo (PEL): 5x1200 m con 3'30" de pausa; (2) protocolo de entrenamiento medio (PEM): 15x400 m con 1'10" de pausa; y (3) protocolo de entrenamiento corto (PEC): 60x100 m con 18" de pausa. Las mediciones incluyeron consumo de oxígeno (VO_2), frecuencia cardíaca (FC), tiempo por encima del 90% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y FCmáx , frecuencia respiratoria (FR), percepción del esfuerzo (RPE), preferencia del atleta frente a los protocolos, variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y altura del salto con contramovimiento (CMJ). Para evaluar y comparar las respuestas fisiológicas, perceptivas y de fatiga aguda de los protocolos de entrenamiento, se realizaron ANOVAs de medidas repetidas y pruebas no paramétricas, según correspondiera.

Resultados: PEL generó el mayor VO_2 medio durante el esfuerzo y el mayor tiempo en "zona roja" ($\geq 90\% \text{VO}_{2\text{máx}}$), pero también fue percibido como el más exigente y el de menor preferencia. PEM mostró respuestas intermedias en la mayoría de las variables y fue el de mayor preferencia entre los atletas. PEC permitió correr más rápido y por más tiempo sobre el 90% de la FCmáx y fue percibido como el menos exigente; a su vez, presentó el menor VO_2 medio durante el esfuerzo, el menor RPE y la mayor duración total de la sesión. Al considerar el tiempo de esfuerzo, no se observaron diferencias significativas en la FC media entre los protocolos. Tampoco

se observaron diferencias significativas en las disminuciones en la altura del CMJ y en la VFC que se registraron post entrenamiento.

Conclusión: Los tres protocolos fueron eficaces para alcanzar zonas de alta intensidad, pero con perfiles fisiológicos y perceptivos distintos. PEL se destacó como el más eficaz para estimular la potencia aeróbica y por ser el más exigente; PEM por ofrecer el mayor equilibrio entre carga fisiológica y respuestas perceptivas; y PEC por favorecer velocidades altas con menor percepción de esfuerzo. Estos hallazgos pueden orientar la programación de HIIT en función de los objetivos específicos, considerando tanto la eficacia fisiológica como las respuestas perceptivas de los deportistas

Palabras Clave: Atletismo. HIIT. Entrenamiento de resistencia.

Abstract

Introduction: High-intensity interval training (HIIT) is widely used by long-distance runners, as it allows for greater accumulated time at high intensities compared to continuous methods, without excessively increasing the total training load. However, few well-controlled studies have compared the effects of different HIIT protocols in well-trained runners.

Objective: To describe and compare the physiological, perceptual, and acute fatigue responses induced by three HIIT protocols differing in interval duration but matched for total volume and work-to-rest ratio.

Methods: Twenty trained long-distance runners (10 men and 10 women, 31.4 ± 5.4 years) completed three HIIT sessions on a track: (1) long-interval protocol (LIP): 5x1200 m with 3'30" rest; (2) medium-interval protocol (MIP): 15x400 m with 1'10" rest; and (3) short-interval protocol (SIP): 60x100 m with 18" rest. Measurements included oxygen consumption (VO_2), heart rate (HR), time above 90% of $\text{VO}_{2\text{max}}$ and HR_{max} , respiratory rate (RR), rating of perceived exertion (RPE), athlete preference, heart rate variability (HRV), and countermovement jump (CMJ) height. Repeated measures ANOVA and non-parametric tests were used, as appropriate, to assess and compare physiological, perceptual, and acute fatigue responses.

Results: LIP elicited the highest average VO_2 during effort and the most time in the "red zone" ($\geq 90\% \text{VO}_{2\text{max}}$), but was also rated as the most demanding and least preferred. MIP produced intermediate responses across most variables and was the most preferred by athletes. SIP allowed higher running speeds and longer time above 90% HR_{max} , was perceived as the least demanding, showed the lowest average VO_2 during effort, the lowest RPE, and the longest total session duration. No significant differences in mean HR during effort were found across protocols. Similarly, post-training reductions in CMJ height and HRV did not differ significantly among protocols.

Conclusion: All three protocols were effective in reaching high-intensity training zones, but showed distinct physiological and perceptual profiles. LIP was most effective for stimulating aerobic power and was the most demanding; MIP offered the best balance between physiological load and perceptual responses; and SIP

promoted higher speeds with lower perceived exertion. These findings can guide the programming of HIIT based on specific objectives, taking into account both physiological effectiveness and athletes' perceptual responses.

Keywords: Athletics. HIIT. Endurance training.

Lista de Ilustraciones

Figura 1 – Modelo trifásico de intensidad del ejercicio	20
Figura 2 – Variables que se pueden manipular para prescribir sesiones HIIT.....	27
Figura 3 – Rango de intensidad utilizado para los distintos formatos de entrenamiento de alta intensidad basados en carrera.	28
Figura 4 – Media de VO_2/kg según protocolo y fase del entrenamiento	48
Figura 5 – Media de FC según protocolo y fase del entrenamiento	49
Figura 6 – Evolución del VO_2/kg por protocolo: en hombres y en mujeres	52
Figura 7 – Evolución de la FC por protocolo: en hombres y en mujeres.....	53
Figura 8 – Media de tiempo sobre el 90% del máximo de VO_2/kg y FC.....	54
Figura 9 – Media de tiempo hasta alcanzar el 90% del máximo de VO_2/kg y FC	54
Figura 10 – Mediana de la RPE para cada protocolo por consulta	54
Figura 11 – Mediana de la RPE respiratorio para cada protocolo.....	55
Figura 12 – Mediana de la RPE de piernas para cada protocolo.....	56
Figura 13 – Comparativa entre altura de saltos CMJ pre y post por protocolo.....	58
Figura 14 – Comparativa de rMSSD pre y post por protocolo	59

Listas de Tablas

Tabla 1 – Protocolos de entrenamiento	38
Tabla 2 – Características de los sujetos	44
Tabla 3 – Resultados evaluación inicial	45
Tabla 4 – Velocidades de desplazamiento: equiparados cada 100 metros.	46
Tabla 5 – Media de VO_2/kg , FC y FR ($\pm$ DE) por fase de entrenamiento	47
Tabla 6 – Diferencias de valores medios de VO_2/kg y FC entre protocolos	48
Tabla 7 – Media de VO_2/kg , FC y FR ($\pm$ SD) por fase distinguido por sexo	50
Tabla 8 – Tiempos en “zona roja” según protocolos	51
Tabla 9 – Escala de Preferencia	57

Lista de abreviaturas y siglas

CMJ	Salto con contramovimiento. (<i>En inglés, Contramovement Jump</i>)
EC	Economía de carrera
FC	Frecuencia cardíaca
FCmáx	Frecuencia cardíaca máxima
FR	Frecuencia Respiratoria
GC	Gasto cardíaco
HIIT	Entrenamiento interválico de alta intensidad. (<i>En inglés, High Intensity Interval Training</i>)
PEC	Protocolo de entrenamiento corto
PEL	Protocolo de entrenamiento largo
PEM	Protocolo de entrenamiento medio
rMSSD	Raíz cuadrada de medias de diferencias sucesivas (<i>En inglés: Root mean square of successive differences</i>)
RPE	Percepción subjetiva del esfuerzo. (<i>En inglés, rate of perceived exertion</i>)
T@VO₂máx	Tiempo en segundos en el cuál un atleta se encuentra por encima del 90 % de su consumo máximo de oxígeno o “zona roja”
vVO₂máx	Vel. de carrera necesaria para alcanzar el VO ₂ máx
VFC	Variabilidad de la frecuencia cardíaca
VO₂	Consumo de oxígeno
VO₂máx	Consumo máximo de oxígeno
VO₂pico	Consumo pico de oxígeno obtenido en una evaluación incremental máxima
VS	Volumen sistólico
VT1	Umbral ventilatorio 1. (<i>En inglés: ventilatory threshold 1</i>)
VT2	Umbral ventilatorio 2. (<i>En inglés: ventilatory threshold 2</i>)

:

Tabla de contenidos

1. Introducción y problema de investigación.....	13
2. Pregunta, objetivos e hipótesis	16
2.1 Pregunta de investigación.....	16
2.2 Objetivos.....	16
2.3 Hipótesis.....	17
3. Marco teórico y conceptual.....	18
3.1 Las carreras de fondo en atletismo y la evolución del HIIT	18
3.2 Factores determinantes del rendimiento en corredores de fondo.....	20
3.3 El HIIT y antecedentes de investigaciones en corredores de fondo	26
3.4 Valoración del estrés posterior al entrenamiento	33
3.5 Preferencia del entrenamiento por parte de los deportistas	34
4. Reseña metodológica	36
4.1 Participantes.....	36
4.2 Protocolo experimental	37
4.2.1 Evaluación Inicial.....	37
4.2.2 Sesiones de entrenamiento	38
4.2.3 Mediciones durante e inmediatamente posterior al entrenamiento	39
4.2.4 Mediciones pre y post entrenamiento	40
4.3 Análisis de datos.....	41
5. Resultados	44
5.1 Características de los atletas.....	44
5.2 Respuestas de los tres protocolos de entrenamiento.....	46
5.2.1 Variables fisiológicas	46
5.2.2 Percepción subjetiva del esfuerzo	54
5.2.3 Preferencias de entrenamiento	56
5.2.4 Registros pre y post entrenamiento	58
6. Discusión.....	60
7. Conclusiones	68
8. Futuras líneas de investigación	70
9. Referencias Bibliográficas	71
10. ANEXOS.....	76

1. Introducción y problema de investigación

En atletismo, se consideran carreras de fondo a aquellas pruebas que abarcan desde los 5.000 metros hasta el maratón (42.195 m). El objetivo principal en estas competencias es recorrer la distancia en el menor tiempo posible, lo cual exige sostener ritmos de carrera elevados durante períodos prolongados. Por esta razón, la mayor parte del tiempo de entrenamiento se destina a mejorar el estado de forma del deportista, a diferencia de otras disciplinas deportivas donde se prioriza el desarrollo de las habilidades técnico-tácticas (Laursen & Buchheit, 2018).

Desde el punto de vista fisiológico, estas pruebas están dominadas por la vía energética oxidativa. El rendimiento se asocia estrechamente con indicadores como el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_2\text{máx}$), la posibilidad de ejercitarse durante un tiempo prolongado a intensidades cercanas a ese $\text{VO}_2\text{máx}$ (lo cual está asociado a los umbrales metabólicos), la economía de carrera y la capacidad para mantener una técnica eficiente bajo condiciones de fatiga (Kenney et al., 2022). Además, factores morfológicos como el somatotipo de predominio ectomorfo —baja masa corporal relativa a la estatura— favorecen el desempeño en estas pruebas, el cual se debe a una combinación entre predisposición genética, alimentación y el propio entrenamiento de alto volumen (Laursen & Buchheit, 2018).

Dentro de los planes de entrenamiento para fondistas, el trabajo intervalado de alta intensidad (conocido en inglés como *High-Intensity Interval Training*, o por su sigla: HIIT) ocupa un lugar de destaque. Este tipo de entrenamiento, que alterna períodos breves de esfuerzo intenso con pausas activas o pasivas de recuperación, suele aplicarse entre una y tres veces por semana, complementando los entrenamientos continuos (Daniels, 2014; Haugen et al., 2022). Los períodos de esfuerzo suelen durar entre varios segundos y pocos minutos, y se realizan a una intensidad entre el segundo umbral ventilatorio (alrededor del 80 al 90% del $\text{VO}_2\text{máx}$) y el 110% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Billat, 2001; Tschakert & Hofmann, 2013).

Una particularidad del HIIT es que permite acumular mayor tiempo de esfuerzo a altas intensidades, en comparación con los métodos continuos, optimizando así el

estímulo fisiológico sin incrementar excesivamente la carga total de entrenamiento (Coates et al., 2023; Milanović et al., 2015).

El HIIT resulta particularmente efectivo para incrementar el $\text{VO}_2\text{máx}$ y la velocidad o potencia asociada al mismo, así como también para elevar los umbrales ventilatorios, contribuyendo al mantenimiento y mejora del rendimiento competitivo, incluso permitiendo disminuir el volumen semanal de entrenamiento (Esfarjani & Laursen, 2007; López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

Estos beneficios del HIIT se explican por los efectos agudos que produce. Durante los intervalos intensos, la frecuencia cardíaca (FC), el volumen sistólico (VS) y el gasto cardíaco (GC) se acercan a sus valores máximos. A nivel muscular, ocurre un importante reclutamiento de fibras musculares tipo II, cuyo metabolismo predominantemente glucolítico (no oxidativo) conduce a un marcado aumento de la acidosis del medio interno. A su vez, se estimula el sistema simpático-adrenal, aumenta el nivel circulante de la hormona de crecimiento y se potencia la glucogenólisis (López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

A pesar que el HIIT está muy extendido en los programas de entrenamientos de los fondistas, la diversidad de protocolos utilizados (diferencias en volumen, intensidad, duración, pausas, etc.) y la escasez de estudios bien controlados, conlleva a que aún haya muchas interrogantes respecto a qué protocolos (combinaciones de intensidades y duraciones de los períodos de esfuerzo y recuperación) son los más efectivos para inducir adaptaciones específicas (Tschakert & Hofmann, 2013). Por ejemplo, para la práctica del entrenamiento, resulta interesante explorar qué tipo de protocolo permite mantener mayores velocidades de carrera durante la sesión, sosteniendo un alto consumo de oxígeno (VO_2), con niveles de acidez y percepción de esfuerzo tolerables.

En función de lo expuesto, se propuso un estudio con atletas de fondo, que comparó tres protocolos HIIT con intervalos de diferente longitud: largos (1200 m), medios (400 m) y cortos (100 m). Los protocolos se equipararon en el volumen total (6.000 m) y se estandarizó un tiempo de pausa próximo a igualar la relación trabajo/pausa

1:1. En todos los casos, se indicó a los atletas correr al máximo ritmo sostenible para completar la totalidad de las pasadas.

Cabe destacar que los dos primeros protocolos son comúnmente utilizados por los corredores de fondo; en cambio, el protocolo de intervalos cortos es menos habitual en esta población. Además, en la bibliografía consultada no se encontraron antecedentes de investigaciones que hubieran evaluado, en corredores de fondo altamente entrenados, protocolos de HIIT con tiempos de trabajo menores a 30 segundos y pausas de duración similar.

Un valor agregado del presente estudio es su realización en un contexto de entrenamiento real, específicamente en pista y con atletas experimentados, lo cual aumenta su validez externa (ecológica) y aplicabilidad práctica, y lo distingue de estudios similares realizados en laboratorio o con poblaciones menos entrenadas.

2. Pregunta, objetivos e hipótesis

La pregunta, objetivos e hipótesis que nos propusimos abordar en el estudio son los siguientes:

2.1 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los efectos fisiológicos agudos, la percepción subjetiva de esfuerzo (RPE) y la preferencia de tres protocolos HIIT, con intervalos de esfuerzo de distinta duración (larga, media y corta), equiparados en volumen total y con una relación trabajo/pausa cercana a 1:1?

2.2 Objetivos

General: Describir y comparar, en atletas de fondo de ambos sexos, las respuestas fisiológicas, de la RPE y de preferencia de tres protocolos HIIT con intervalos de esfuerzo de distinta duración (larga, media y corta), equiparados en volumen total y con una relación trabajo/pausa cercana a 1:1.

Específicos:

- 1) Describir y comparar, durante el tiempo total de trabajo, el tiempo de esfuerzo y el tiempo de pausa el comportamiento de las siguientes variables:
 - (I) Consumo de oxígeno (VO_2)
 - (II) Frecuencia cardíaca (FC)
 - (III) Frecuencia respiratoria (FR)
 - (IV) Percepción subjetiva de esfuerzo (RPE)
 - (V) Velocidad media de desplazamiento, durante el esfuerzo
 - (VI) Concentración de lactato en sangre

- 2) Describir y comparar en cada protocolo, previo y posterior al entrenamiento, las siguientes variables:
 - (VII) Variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC).
 - (VIII) Altura de salto con contramovimiento (CMJ)

- 3) Reportar la preferencia de entrenamiento manifestada por los atletas, una vez finalizada la intervención.

2.3 Hipótesis

Con base en los antecedentes bibliográficos revisados y en la experiencia práctica de los autores del presente trabajo como entrenadores y atletas, se establecieron las siguientes hipótesis:

- Durante los intervalos de esfuerzo, se observarán valores medios de VO_2 y FC más elevados en el protocolo de entrenamiento largo (PEL), seguidos por el protocolo de entrenamiento medio (PEM) y finalmente por el protocolo de entrenamiento corto (PEC).
- Considerando la totalidad de la sesión (esfuerzo + pausa), el VO_2 medio y la FC media serán mayores en PEC, seguido por PEM y finalmente por PEL.
- PEL será el protocolo en el que los atletas permanecerán durante más tiempo a intensidades iguales o superiores al 90% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($T@V_{O2\text{máx}}$).
- La concentración de lactato sanguíneo presentará valores superiores en PEM, seguidos por PEL y finalmente por PEC.
- No se observarán diferencias significativas entre los tres protocolos en cuanto a la RPE.
- PEM será el protocolo de mayor preferencia por parte de los atletas, mientras que PEC será el de menor agrado.

3. Marco teórico y conceptual

En este apartado se presentan las pruebas de fondo en atletismo, junto con una breve reseña histórica del surgimiento y evolución del HIIT. A continuación, se describen los principales factores que determinan el rendimiento en corredores de fondo. Luego, se exponen antecedentes de investigaciones sobre los efectos del HIIT en el desempeño de estos atletas. Finalmente, se desarrollan dos breves secciones: una referida a la valoración del estrés posterior al entrenamiento, y otra centrada en las preferencias de los deportistas respecto a diferentes protocolos de entrenamiento.

3.1 Las carreras de fondo en atletismo y la evolución del HIIT

Las carreras de fondo en atletismo pueden disputarse en pista o en ruta. Las competencias oficiales que conforman el programa olímpico en pista son los 5.000 y los 10.000 metros, y en ruta el maratón (42.195 m). Sin embargo, existen otras distancias homologadas y frecuentemente utilizadas en competición, como los 3.000 metros llanos en pista y los 5 km, 10 km y media maratón (21.097 m) en ruta, entre otras (Rius Sant, 2005).

En la preparación de estas pruebas, el desarrollo de las capacidades condicionales de los atletas, especialmente la resistencia, tiene un rol determinante para alcanzar un alto rendimiento. Por ello, el entrenamiento semanal pone gran énfasis en la ejecución de carreras a distintas velocidades (Daniels, 2014). Tradicionalmente, el entrenamiento de resistencia se basó en métodos continuos, realizados durante varios minutos o incluso horas. Sin embargo, a medida que aumenta la intensidad, el tiempo máximo sostenible disminuye, lo que limita la duración del estímulo. Como alternativa, surgió hace más de un siglo el HIIT, que ha cobrado gran relevancia no solo en el ámbito deportivo, sino también, más recientemente, en el contexto clínico. Una de sus principales ventajas es la posibilidad de sostener intensidades elevadas durante un mayor tiempo (tiempo total acumulado a lo largo de los intervalos) que cuando se realizan esfuerzos continuos (López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

Se estima que las primeras aplicaciones sistematizadas del HIIT datan de principios del siglo XX, llevadas a cabo por corredores de fondo de países nórdicos. Uno de

los pioneros fue el atleta finlandés Hannes Kolehmainen, múltiple medallista olímpico, quien preparó su participación en los Juegos Olímpicos de Estocolmo 1912 con entrenamientos fraccionados que consistían en series de cinco a diez repeticiones al ritmo competitivo de 10.000 metros (Laursen & Buchheit, 2018).

A su vez, Paavo Nurmi, ganador de 12 medallas olímpicas entre 1920 y 1932 incorporaba en sus entrenamientos series de carrera de alta intensidad que podían ir desde los 80 a los 4.000 m. Paralelamente, los suecos Gösse Holmer y Gösta Olander también desarrollaban entrenamientos con ritmos y terrenos variados, en los que se buscaba correr de forma intensa, pero manteniendo siempre una sensación de frescura. Se considera que ellos fueron los precursores de lo que, años después, se denominaría “entrenamiento fartlek” (Billat, 2001).

Pese a estos antecedentes, la popularidad del HIIT se consolidó recién en la década de 1950, luego de la descollante actuación de Emil Zátopek en los Juegos Olímpicos de Helsinki 1952, donde conquistó las medallas de oro en 5.000, 10.000 m y maratón. Tras estos logros, junto con su entrenador Josef Hron, comenzaron a difundir el método de entrenamiento que venían desarrollando desde casi una década atrás, que consistía en pasadas de entre 200 y 400 m a una velocidad elevada, calculada a partir de las mejores marcas personales en distancias de entre 3 y 10 km (López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

Durante esta misma época, comenzaron a establecerse vínculos entre entrenadores y médicos deportivos, dando lugar a los primeros intentos sistemáticos de control científico del entrenamiento (Rius Sant, 2005).

En la década de 1960 se publicaron las primeras investigaciones científicas sobre el HIIT, lideradas por los fisiólogos Per-Olof Åstrand y Bengt Saltin. Entre sus contribuciones se encuentran “Intermittent Muscular Work” e “Intermittent and Continuous Running (A further contribution to the physiology of intermittent work)”, donde analizaron los efectos fisiológicos del HIIT de intervalos largos y cortos, respectivamente.

Posteriormente, en 1969, Fox, Robinson y Wiegman publicaron el primer estudio que comparó el aporte energético de las vías metabólicas implicadas durante

entrenamientos continuos versus intervalados. Sus hallazgos indicaron que el entrenamiento intervalado generaba menor acumulación de lactato y una aparición más tardía de la fatiga en comparación con el entrenamiento continuo realizado a la misma velocidad (Fox et al., 1969). Durante la década de 1970, el HIIT fue ganando protagonismo y comenzó a expandirse hacia otras disciplinas deportivas.

En la actualidad, el entrenamiento continuo de baja intensidad y el HIIT coexisten de forma complementaria en los programas de entrenamiento de prácticamente todos los corredores de fondo. Ambos métodos son considerados sinérgicos en la búsqueda de adaptaciones fisiológicas óptimas a corto y largo plazo (Seiler, 2024). Respecto a la distribución de las cargas, la evidencia muestra que la mayor parte del volumen de entrenamiento total semanal de los atletas se realiza a baja intensidad (próximo al 80% del volumen), mientras que el 20% restante se reparte entre trabajos de intensidad moderada y alta (Haugen et al., 2022; Sylta et al., 2016).

Durante mucho tiempo predominó el modelo “piramidal”, que asigna a la intensidad moderada (próxima al segundo umbral metabólico) la mayor parte de ese 20% de volumen que se realiza fuera de la zona de baja intensidad; es decir, relegando la alta intensidad a un papel menor. No obstante, en los últimos años ha ganado protagonismo el modelo “polarizado”, que propone asignar aproximadamente entre un 75 y 78% del volumen de entrenamiento a la baja intensidad, entre un 15 y 20% a la alta intensidad, y menos de un 8% a la intensidad moderada. Este enfoque, en comparación con el piramidal, otorga un papel más importante al HIIT, incorporando más sesiones de esta modalidad (generalmente dos sesiones semanales a lo largo de toda la temporada) y reduciendo en consecuencia el volumen de trabajo realizado a ritmo entre umbrales (Seiler, 2010; Stöggl & Sperlich, 2015).

3.2 Factores determinantes del rendimiento en corredores de fondo

Entre los diversos factores biológicos que influyen en el rendimiento de los corredores de fondo, se destacan: la presencia de un somatotipo de predominio ectomorfo, un elevado consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), una economía de carrera eficiente, un alto porcentaje de fibras musculares tipo I, y la manifestación de los umbrales metabólicos a intensidades elevadas. Si bien estos factores están

interrelacionados, con el fin de facilitar su exposición, a continuación, se presentan de forma separada y breve.

Somatotipo de predominio ectomorfo

La composición morfológica del somatotipo de predominio ectomorfo se caracteriza por una complexión delgada, extremidades largas, bajo porcentaje de grasa corporal y escasa masa muscular absoluta, especialmente en el tronco superior (Sanchez Muñoz et al., 2020). Esta configuración ofrece ventajas clave para los corredores de fondo. Por un lado, la baja masa corporal mejora la economía de carrera, ya que reduce el costo energético del desplazamiento, permitiendo un uso más eficiente del oxígeno, fundamental en esfuerzos aeróbicos prolongados (Joyner & Coyle, 2008). Además, la mayor relación superficie/volumen facilita la termorregulación, lo que ayuda a disipar el calor de manera más eficaz durante competencias de larga duración, reduciendo el riesgo de fatiga térmica (Chaouachi et al., 2005). Por otro lado, el menor peso corporal disminuye el impacto mecánico sobre las articulaciones y estructuras óseas en cada zancada, reduciendo la incidencia de lesiones por sobreuso y favoreciendo la recuperación, lo que permite sostener mayores volúmenes de entrenamiento. Finalmente, los corredores con este somatotipo tienden a mostrar una buena respuesta a las adaptaciones inducidas por el entrenamiento aeróbico, tales como un mayor $\text{VO}_2\text{máx}$, una elevada densidad mitocondrial y una red capilar más desarrollada, optimizando la entrega y utilización de oxígeno en los músculos activos (Chaouachi et al., 2005; Haugen et al., 2022). En conjunto, estas características hacen al somatotipo de predominio ectomorfo especialmente apropiado para las exigencias fisiológicas, biomecánicas y energéticas de las carreras de fondo.

Elevado consumo máximo de oxígeno

El $\text{VO}_2\text{máx}$ se define como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo mientras la persona realiza un esfuerzo máximo (McArdle et al., 2015). Este parámetro posee gran relevancia fisiológica, ya que refleja la capacidad funcional integrada de los sistemas cardiovascular, respiratorio y metabólico.

En el ámbito del entrenamiento y la evaluación del rendimiento, se utilizan con frecuencia la Potencia Aeróbica Máxima (PAM) y la Velocidad Aeróbica Máxima (VAM o $v\text{VO}_2\text{máx}$) para determinar la intensidad a la que un atleta alcanza su $\text{VO}_2\text{máx}$ en un protocolo específico. Estos indicadores son útiles para programar la intensidad del entrenamiento, ya que cualquier esfuerzo realizado por encima de esos valores implica una mayor participación de las vías energéticas no oxidativas, dado que el consumo de oxígeno ha alcanzado su meseta y no puede incrementarse (Mora et al., 2020).

La medición del consumo de oxígeno se realiza mediante analizadores de gases. La técnica de referencia para evaluar la capacidad funcional durante el ejercicio es la prueba de esfuerzo cardiopulmonar (CPET, por sus siglas en inglés). En corredores, esta prueba se lleva a cabo comúnmente en tapiz rodante o en campo; en este segundo caso, utilizando analizadores portátiles. Los protocolos requieren incrementos lentos y progresivos de la velocidad hasta alcanzar la fatiga, con una duración total que suele oscilar entre los 8 y 12 minutos (Abeytua Jiménez et al., 2019).

Un $\text{VO}_2\text{máx}$ elevado refleja adaptaciones centrales (cardiopulmonares) y periféricas (musculares) que son clave para el alto rendimiento en corredores de fondo. Entre ellas se destacan un corazón de gran tamaño, capaz de bombear grandes volúmenes de sangre por minuto, una elevada capacidad de transporte y aprovechamiento del oxígeno en el tejido muscular, un volumen sanguíneo incrementado y una densa red capilar en los músculos activos, lo que facilita el suministro y utilización eficiente de oxígeno durante el ejercicio prolongado (Kenney et al., 2022).

Economía de carrera eficiente

En el atletismo de fondo, la economía de carrera (EC) suele ser definida como la cantidad de energía, generalmente expresada como consumo de oxígeno por kilogramo de masa corporal (VO_2/kg), que un atleta necesita para correr a una velocidad submáxima determinada. Cuanto menor sea el consumo de oxígeno por

kilogramo de peso corporal a una misma velocidad, mayor será la EC (Saunders et al., 2004).

La EC está influida por una combinación de factores morfológicos, fisiológicos y biomecánicos. Entre ellos se encuentran las adaptaciones intramusculares derivadas del entrenamiento de resistencia, como una mayor densidad capilar y mitocondrial y mayor actividad de enzimas oxidativas; la capacidad de los músculos y tendones para almacenar y liberar energía elástica mediante un aumento en su rigidez; y una mecánica de carrera más eficiente, que minimiza el gasto energético asociado a las fuerzas de frenado y a oscilaciones verticales excesivas (Saunders et al., 2004).

Entre las estrategias de entrenamiento que han demostrado mejorar la EC en corredores de fondo se destacan el incremento progresivo del volumen de kilómetros semanales, la incorporación de sesiones de HIIT, los trabajos específicos de fuerza (especialmente los de tipo pliométrico y excéntrico), y el entrenamiento en altitud, que promueve adaptaciones hematológicas y metabólicas beneficiosas (Midgley et al., 2007).

Alto porcentaje de fibras musculares tipo I

El músculo esquelético humano está compuesto por distintos tipos de fibras musculares que, según sus características bioquímicas y contráctiles, suelen ser clasificadas en tipo I y tipo II, estas últimas subdivididas en IIa y IIx. Entre ellas, las fibras tipo I son las más relevantes para el rendimiento en pruebas de fondo debido a su elevada capacidad oxidativa y resistencia a la fatiga.

Las fibras tipo I son de menor tamaño, tiempo de contracción lento, color rojo, y presentan una alta densidad mitocondrial, gran concentración de mioglobina y abundantes enzimas oxidativas. Estas propiedades permiten que obtengan la mayor parte del ATP a través del metabolismo aeróbico, lo que las convierte en fibras poco potentes, pero sumamente eficientes y resistentes a esfuerzos prolongados. Por estas razones, un alto porcentaje de fibras tipo I se asocia con un mejor rendimiento en pruebas de larga duración, donde la resistencia y la eficiencia metabólica son determinantes (López Chicharro & Vicente Campos, 2017).

La proporción de fibras musculares está en gran medida determinada genéticamente y varía según el grupo muscular analizado. Sin embargo, el entrenamiento puede inducir adaptaciones funcionales significativas. En atletas de fondo, el entrenamiento aeróbico sostenido promueve un aumento en la actividad de enzimas oxidativas y en la densidad mitocondrial, incluso en fibras de contracción rápida (tipo II), particularmente en las de tipo IIa (López Chicharro & Vicente Campos, 2017). Esta transformación funcional favorece la eficiencia metabólica y la utilización de sustratos energéticos durante esfuerzos prolongados.

Se ha demostrado que entrenamientos de alta intensidad, como los de tipo HIIT, estimulan el reclutamiento repetido y prolongado de fibras rápidas, lo que potencia su adaptación hacia un perfil más oxidativo (Kohn et al., 2011; Tan et al., 2018). Esta plasticidad contribuye a mejorar el rendimiento aeróbico, ya que amplía el repertorio de fibras musculares capaces de sostener esfuerzos intensos por tiempo prolongado, un aspecto clave en las carreras de fondo.

Manifestación de los umbrales metabólicos a intensidades elevadas

Durante un ejercicio físico incremental, como una carrera en la que se aumenta progresivamente la velocidad (por ejemplo, entre 0.5 y 1 km/h cada minuto), es posible identificar dos umbrales (zonas, más precisamente) de transición metabólica. Estos umbrales marcan cambios significativos en las respuestas fisiológicas del organismo, asociados a parámetros cardiovasculares, respiratorios, metabólicos y neuromusculares (*Figura 1*).

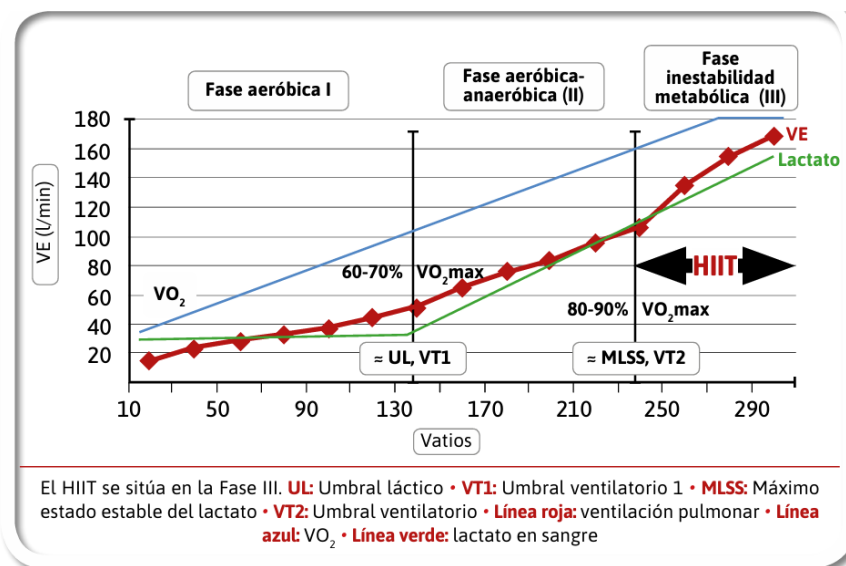
El primer umbral (asociado al primer umbral ventilatorio, VT1 y al primer umbral de lactato, entre otros indicadores) indica la primera transición importante desde un predominio en la utilización de ácidos grasos como fuente de energía hacia un aumento en la oxidación de carbohidratos. El ejercicio realizado cerca o por debajo de este umbral puede, en general, sostenerse durante periodos prolongados (horas en corredores de fondo) sin generar una fatiga significativa, y se considera una zona de entrenamiento especialmente apropiada para mejorar la base aeróbica.

El segundo umbral (asociado al segundo umbral ventilatorio, VT2 y al segundo umbral de lactato, entre otros indicadores) representa el límite superior de la

intensidad que el organismo puede mantener en equilibrio fisiológico (estado estable). A partir de este punto, el cuerpo comienza a depender en mayor medida de fuentes de energía no oxidativas, lo que conlleva una acumulación progresiva de metabolitos asociados a la fatiga. Esta intensidad se asocia con un aumento exponencial de variables como la lactatemia, la acidez, la ventilación, la FC y el VO_2 . El HIIT se prescribe por encima de este segundo umbral, ya que en ese rango se estimulan las respuestas centrales y periféricas que permiten alcanzar el $\text{VO}_{2\text{máx}}$, el GC máximo y la ventilación voluntaria máxima, entre otras variables clave para mejorar la potencia aeróbica (López Chicharro & Vicente Campos, 2018).

Existen diversas metodologías para determinar los umbrales metabólicos, entre las que se destacan el análisis de lactato en sangre, la identificación de puntos ventilatorios y la medición de la saturación de oxígeno muscular mediante espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (NIRS, por sus siglas en inglés). Recientemente, se ha propuesto también el uso de una métrica derivada de la VFC, conocida como DFA- $\alpha 1$ (*Detrended Fluctuation Analysis alpha 1*, por sus siglas en inglés), como herramienta práctica y no invasiva para estimar estos umbrales. La identificación de estos puntos de transición no solo es de utilidad para evaluar la condición fisiológica del deportista, sino que también permite establecer zonas de entrenamiento bien delimitadas, como plantea el modelo trifásico propuesto por Skinner y McLellan en la década de 1980. En corredores de fondo, ambos umbrales metabólicos son predictivos del ritmo de competencia. Conocer la velocidad correspondiente a estos puntos permite planificar estrategias de entrenamiento y competición más efectivas, reduciendo el riesgo de fatiga temprana y optimizando el rendimiento (Kenney et al., 2022).

Figura 1
Modelo trifásico de intensidad del ejercicio



Nota. López Chicharro & Vicente Campos (2018, p.23).

3.3 El HIIT y antecedentes de investigaciones en corredores de fondo

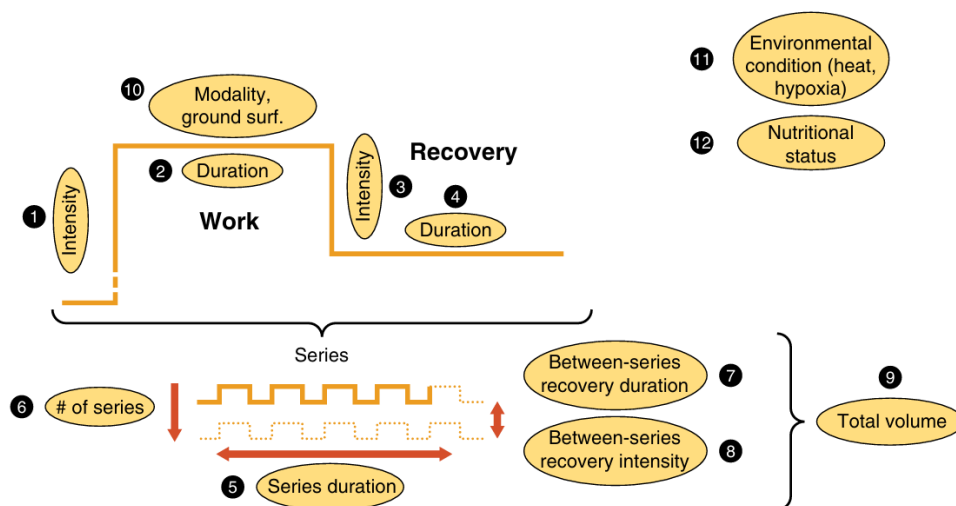
Los beneficios de incluir sesiones de HIIT en los programas de entrenamiento de atletas de fondo entrenados están ampliamente documentados en la literatura científica. Utilizar HIIT, en comparación con la prescripción exclusiva de entrenamientos de carrera continua, ha demostrado mejorar diversas variables fisiológicas y de rendimiento, tales como el VO_{2max} , la potencia pico y la recuperación de la FC tras un test incremental de esfuerzo máximo (Milanović et al., 2015; Stöggl & Björklund, 2017), la potencia empleada a 4 mmol/L de lactato en un test máximo de 40 minutos, y la potencia en 30 segundos en un test de Wingate (Pedersen & Wåle, 2017; Rønnestad et al., 2015; Sylta et al., 2017). Además, se ha observado una disminución en la concentración de lactato sanguíneo, la FC media y la RPE durante la realización de un test máximo continuo de 60 minutos (Etxebarria et al., 2013).

En la programación del HIIT es posible manipular diversos componentes de la carga, lo que da lugar a un abanico prácticamente infinito de variantes. Laursen y Buchheit (2018), en su libro *Science and Applications of High Intensity Interval Training*, describen 12 variables susceptibles de manipulación en la programación del HIIT (Figura 2).

Nueve de ellas están relacionadas específicamente con las magnitudes de carga, mientras las tres restantes corresponden a factores del entorno y condiciones previas al ejercicio. Si el entrenamiento se organiza sin series, este número puede reducirse de nueve a cinco.

Figura 2

Variables que se pueden manipular para prescribir sesiones HIIT.



Nota. Laursen & Buchheit (2018, p.54)

Estas variables son: (1) intensidad del intervalo, (2) duración del intervalo, (3) intensidad de la micropausa, (4) duración de la micropausa, (5) número de intervalos, (6) número de series, (7) duración de macropausa, y (8) la intensidad de macropausa. Las variables (1) a (8) están relacionadas con el (9) volumen total.

Además, otros factores que inciden en las respuestas fisiológicas de una sesión de HIIT son: (10) la modalidad del ejercicio y la superficie (en el caso del HIIT basado en carrera), (11) el entorno, como la temperatura y la altitud, y (12) las prácticas nutricionales previas al ejercicio. La manipulación de cada variable de manera aislada tiene un impacto directo en las respuestas metabólicas, cardiorrespiratorias y/o neuromusculares. Cuando se manipulan simultáneamente más de una variable, las respuestas son más difíciles de predecir, ya que los factores están interrelacionados (Buchheit & Laursen, 2013).

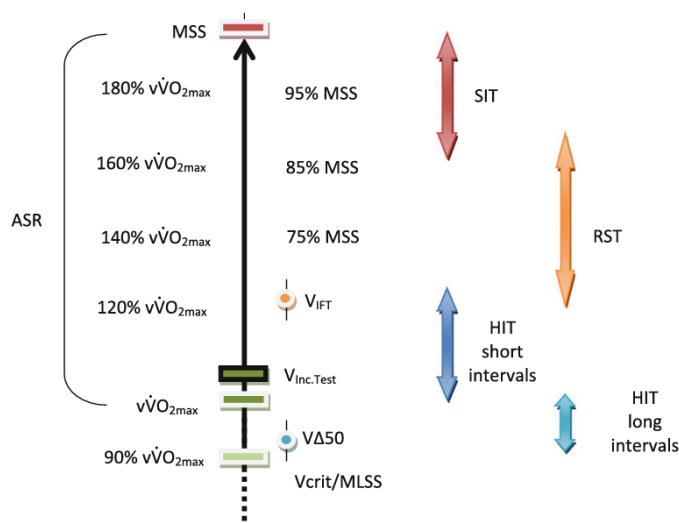
La duración o el volumen del intervalo de trabajo puede establecerse en función del tiempo o la distancia. En entrenamientos HIIT, se considera que los intervalos cortos

son aquellos cuya duración no supera los 60 segundos, mientras que los intervalos largos oscilan entre 1 y 8 minutos (Billat, 2001; Tschakert & Hofmann, 2013).

Es importante distinguir el concepto de HIIT de los de *repeated sprint training* (RST) y de *sprint interval training* (SIT), ya que estos suelen prescribirse con intensidades supra máximas, es decir, superiores a la intensidad asociada al $\dot{V}O_2\text{máx}$ (Figura 3). El RST consiste en esfuerzos muy breves (3 a 7 segundos), generalmente máximos, con pausas incompletas de menos de 1 minuto, y se utiliza principalmente en deportes colectivos intermitentes. En cambio, el SIT implica esfuerzos máximos (“all-out”) de entre 20 y 30 segundos, seguidos por pausas más prolongadas, que van de 2 a 4 minutos.

Figura 3

Rango de intensidad utilizado para los distintos formatos de entrenamiento de alta intensidad basados en carrera.



Nota. Buchheit & Laursen (2013,p217). ASR: Reserva de velocidad anaeróbica. MLSS: Máximo estado estable de lactato. MSS: Velocidad máxima de sprint. $\dot{V}O_2\text{máx}$: Velocidad mínima de carrera necesaria para alcanzar el $\dot{V}O_2\text{máx}$. $V_{\Delta 50}$: Velocidad a mitad de camino entre $\dot{V}O_2\text{máx}$ y MLSS. V_{crit} : Velocidad crítica. V_{IFT} : Velocidad máxima alcanzada al final del Test Intermitente 30–15. $V_{Inc.Test}$: Velocidad máxima alcanzada en una prueba incremental.

En la Figura 3 se observa que los entrenamientos HIIT se sitúan en un rango que va desde el 90 al 120% de la velocidad asociada al $\dot{V}O_2\text{máx}$ y que conforme disminuye la duración de los intervalos de trabajo, aumenta la intensidad del esfuerzo.

Para definir y comparar las repercusiones metabólicas del HIIT, en la literatura científica se utiliza el concepto “tiempo cercano o por encima del $\text{VO}_2\text{máx}$ ”, mayormente conocido como “ $\text{T@VO}_2\text{máx}$ ”. Esta medida representa el tiempo durante el cual el atleta se mantiene a $\geq 90\%$ de su $\text{VO}_2\text{máx}$ durante una sesión de entrenamiento (Midgley & Mc Naughton, 2006). Este concepto —también llamado ““zona roja””— es relevante, ya que se considera que la mejora óptima de la aptitud cardiorrespiratoria se alcanza entrenando a una intensidad entre el 90 y el 100% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Billat, 2001). Por tanto, cuanto mayor sea el tiempo que el atleta logre mantenerse en el $\text{T@VO}_2\text{máx}$, más provechosa será la sesión.

Debido a la amplia variedad de formatos en que puede planificarse el entrenamiento de HIIT, en las últimas décadas se han desarrollado numerosas investigaciones destinadas a comparar las respuestas y adaptaciones fisiológicas a distintos tipos de protocolos bajo diversas condiciones. No obstante, son relativamente pocos los estudios que se han centrado específicamente en analizar las respuestas fisiológicas agudas y la percepción de esfuerzo durante entrenamientos HIIT con intervalos cortos y largos en deportes de resistencia. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes que abordan estos asuntos.

Seiler & Sjursen (2004) compararon, en una población de atletas bien entrenados, cuatro protocolos de entrenamiento con intervalos de diferente duración, todos con un volumen total de 48 minutos y una relación trabajo/pausa de 1:1. Los intervalos evaluados fueron $24 \times 1'$, $12 \times 2'$, $6 \times 4'$ y $4 \times 6'$; la intensidad fue escogida por el atleta bajo la indicación de que fuera la máxima posible que le permitiera completar la sesión. Se observó que la velocidad de carrera disminuía a medida que aumentaba la duración del intervalo de trabajo. El VO_2 medio y la FC media fueron mayores durante los intervalos de 4 minutos, mientras que el menor VO_2 pico se registró en los intervalos de 1 minuto. La RPE tendió a aumentar durante los tres protocolos, alcanzando valores promedio de 17 sobre 20; no obstante, el aumento de la RPE fue más atenuado en el protocolo de intervalos más cortos. El lactato sanguíneo no mostró diferencias significativas entre los distintos protocolos. Los autores mencionan que intervalos de entre 3 y 5 minutos de duración podrían ser óptimos

para inducir un alto estrés cardiovascular en los intervalos a vVO_2 máx, cuando la densidad es 1:1.

Por otra parte, Billat et al. (2001) analizaron las repercusiones de tres protocolos de HIIT de intervalos cortos (15" de esfuerzo por 15" de pausa), realizados a distintos porcentajes de la vVO_2 máx: 90-80%, 100-70% y 110-60%. El estudio se llevó a cabo con corredores aficionados de mediana edad, habituados mayormente al entrenamiento continuo de baja intensidad que al HIIT, y se desarrolló en pista de atletismo utilizando un espirómetro portátil, lo que constituye una de sus principales fortalezas metodológicas. Cada sesión finalizaba cuando el atleta no podía mantener la velocidad establecida.

Los resultados indicaron que los protocolos realizados al 90-80% y al 100-70% de la vVO_2 máx permitieron a los deportistas permanecer durante más tiempo en una zona cercana al VO_2 máx, en comparación con el protocolo 110-60%. El $T@VO_2$ máx alcanzado fue de 14'31" $\pm$ 4'00" y 14'21" $\pm$ 5'30" para los protocolos al 90-80% y al 100-70%, respectivamente. Estos valores representan una carga de entrenamiento muy efectiva para potenciar mejoras en la potencia aeróbica máxima.

Desde una misma perspectiva, Rønnestad et al. (2015) resaltan el valor de los intervalos cortos (< 60 segundos), ya que permiten prolongar el tiempo de trabajo a intensidades superiores al 90% del VO_2 máx, además de desarrollar mayor potencia media y elevadas concentraciones de lactato, en comparación con los intervalos largos de menor intensidad. Estos estímulos, más exigentes desde el punto de vista fisiológico, podrían optimizar la respuesta neuromuscular, estimular la biogénesis mitocondrial y mejorar la capacidad de amortiguación del organismo.

En estudios más recientes se compararon directamente las respuestas a entrenamientos de intervalos cortos y largos. En este sentido, Warr-di Piero et al. (2018) encontraron que, en estímulos que superan los 10 minutos de duración, esfuerzos de 10" al 100% de la vVO_2 máx, con relación trabajo/pausa 1:1, suelen provocar una baja o moderada acumulación de lactato sanguíneo, además de asociarse a una baja RPE. Por el contrario, los intervalos de mayor duración, de 90"

y 130", a la misma intensidad e idéntica relación trabajo/pausa, implican una mayor participación de la vía glucolítica y una RPE más elevada.

Es importante señalar que este estudio empleó volúmenes totales de entrenamiento relativamente bajos, con distancias apenas superiores a 1600 m por protocolo HIIT, y que la intensidad del ejercicio no se incrementó a medida que se acortaban las pasadas. Por esta razón, las comparaciones con sesiones de entrenamiento que implican volúmenes considerablemente mayores y en los que la velocidad de las pasadas aumenta en forma inversamente proporcional a su longitud deben realizarse con cautela.

Tucker et al. (2015) compararon en hombres adultos jóvenes, que entrenan de forma recreativa, las respuestas fisiológicas de un entrenamiento de ciclismo compuesto por 4 bloques de 4' de esfuerzo al 90-95% de la FC_{máx}, con pausa de 3', frente a 16 pasadas de 1' a la misma intensidad, con 1' de pausa entre esfuerzos. Se observó que, en el protocolo con intervalos más largos, el VO₂ medio de toda la sesión de entrenamiento fue significativamente superior (3%), al igual que el VO₂ medio y la FC media durante los períodos de esfuerzo. Sin embargo, el protocolo de 16x1' presentó mayores niveles de potencia media durante el ejercicio, así como valores más elevados de VO₂ medio y FC media durante los períodos de recuperación.

El VO₂ pico alcanzado durante el protocolo de intervalos largos osciló entre el 90 y el 99% del VO₂_{máx}, mientras que el VO₂ pico alcanzado durante el protocolo corto osciló entre el 76 y el 85 %. No se observaron diferencias en las concentraciones de lactato en sangre en la mitad ni al final de los protocolos, así como tampoco en la RPE: 7.0 ± 1.6 vs 7.0 ± 1.4 .

Otro estudio, realizado por Valstad et al. (2018) comparó en tapiz rodante circular no motorizado dos protocolos con volumen total de 25 minutos: uno compuesto por 4 intervalos de 4' al 90-95% de FC_{máx} con 3' de pausa, y otro conformado por 4 series de 8 repeticiones de 20" a la máxima intensidad posible, con 10" de micropausa y 3' de macropausa. Los sujetos fueron estudiantes universitarios físicamente activos, que practicaban deportes colectivos.

Los resultados indicaron que, aunque se recorrió una distancia similar en ambos protocolos, la velocidad durante las pasadas cortas fue significativamente mayor. Además, el VO_2 acumulado durante toda la sesión no mostró diferencias relevantes entre protocolos. Por su parte, la FC media de la sesión fue similar en ambos casos, mientras que el VO_2 medio, la concentración de lactato y la RPE fueron levemente mayores en el protocolo de intervalos largos, aunque sin alcanzar significancia estadística.

Cipryan et al. (2017) compararon dos protocolos de intervalos largos y cortos en tapiz rodante, ambos al 100% del $\text{vVO}_{2\text{máx}}$. El primero consistió en 4 intervalos de 3' y el segundo en 21 x 30", ambos con pausa en reposo de igual duración que el intervalo de esfuerzo. El volumen total del HIIT fue prácticamente equivalente: 21 y 20.5 minutos, respectivamente. El estudio se llevó a cabo con atletas altamente entrenados, integrado en partes iguales por fondistas y velocistas, con el objetivo de comparar las respuestas fisiológicas entre los grupos.

Dado que el presente trabajo se enfoca en deportistas de resistencia, se tomaron únicamente los resultados del grupo de fondistas (edad: 22.1 ± 2.5 años; $\text{VO}_{2\text{máx}}$: $66.2 \pm 5.0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). En este grupo, el VO_2 medio y la FC media del total de la sesión fueron mayores en el protocolo largo (43.5 ± 3.4 vs $39.4 \pm 2.3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y 160.5 ± 12.2 vs $158.1 \pm 14.2 \text{ lat} \cdot \text{min}^{-1}$). Asimismo, la RPE fue significativamente más alta en dicho protocolo (17.3 ± 1.3 vs 12.3 ± 1.5), según la escala de Borg de 6 a 20. Es importante remarcar que ambos protocolos fueron realizados a la misma intensidad.

Por último, Faelli et al. (2022) realizaron un estudio con remeros masculinos adolescentes de nivel nacional (edad: 15.7 ± 0.2 años; $\text{VO}_{2\text{máx}}$: $60.1 \pm 1.9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). La duración de las pasadas a comparar en remo estacionario fue similar al estudio anterior, aunque con leves diferencias en las intensidades: 4 intervalos de 4' al 90% de la $\text{vVO}_{2\text{máx}}$ con 3' de recuperación activa al 30% y 25 de 30" al 100% con 30" de pausa al 20%.

En el protocolo largo, los remeros recorrieron $5.470 \pm 160 \text{ m}$, mientras en el corto fueron $4.863 \pm 137 \text{ m}$. El VO_2 máx (58.57 ± 2.87 vs $52.50 \pm 1.25 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

durante el período de esfuerzo, el $T@VO_2\text{máx}$ y la $FC\text{máx}$ fueron significativamente más altos en el protocolo largo. A su vez, el lactato sanguíneo (16.48 ± 1.20 vs 8.46 ± 1.05 mmol) y la RPE final (9.22 ± 1.00 vs 5.83 ± 0.80) también fueron significativamente mayores en el protocolo de 4 minutos. Únicamente la potencia máxima de remada fue significativamente mayor en las pasadas de 30" (297 ± 11 vs 267 ± 10 vatios).

Los autores señalaron que las diferencias en las cargas medias absolutas constituyen una limitación del estudio, lo que deja abierta la duda de si las diferencias observadas se deben a la duración de los intervalos o, mayormente, a las distintas intensidades de ejercicio empleadas.

3.4 Valoración del estrés posterior al entrenamiento

Para conocer las respuestas inmediatas de una sesión de entrenamiento, se suelen utilizar herramientas que comparan los resultados obtenidos previo y posteriormente al entrenamiento. Entre ellas se encuentran evaluaciones de la función neuromuscular, que incluyen diversas pruebas de saltos, y el análisis de variables derivadas de la función cardiovascular.

Dentro de las evaluaciones de la función neuromuscular destacan los saltos CMJ. Esta técnica, muy utilizada en el ámbito de la evaluación deportiva y el entrenamiento, permite estimar, a través de la altura de salto alcanzada, el grado de fatiga neuromuscular de un deportista. Jiménez-Reyes et al. (2016) cuantificaron el salto CMJ tras el entrenamiento y encontraron correlaciones fuertes entre la pérdida de altura de salto después de una sesión de carreras máximas en velocistas, y la acumulación de lactato sanguíneo ($r = 0.96$) y amoníaco en plasma ($r = 0.95$). En el mismo sentido, Morcillo et al. (2015) hallaron correlaciones similares ($r = 0.97$ y 0.92 , respectivamente) tras un estímulo de 12 aceleraciones repetidas en futbolistas de alto nivel.

Si bien medir únicamente la altura de salto en un CMJ tiene ciertas limitaciones frente a otras variables, como la potencia generada en el mismo o el tiempo de contacto en saltos repetidos, varios estudios antecedentes (Benítez-Flores et al., 2022; Markov et al., 2023; Sánchez-Otero et al., 2022) han utilizado esta variable

para comparar las repercusiones inmediatas entre protocolos de entrenamiento intervalado de distintas características que involucran la carrera. En varios casos se han encontrado diferencias significativas, lo que justifica la posible utilidad de aplicar este método para contrastar los efectos inmediatos de cada protocolo de entrenamiento de forma rápida y económica, particularmente en corredores de fondo, quienes no realizan saltos en sus entrenamientos regulares.

Otra técnica a utilizar es la VFC. Se trata del análisis de la variación en el tiempo entre latidos sucesivos del corazón, reflejando la capacidad del sistema nervioso autónomo para adaptarse a cambios internos y externos del organismo. Esta medición refleja el equilibrio entre el sistema nervioso autónomo simpático y parasimpático (Buchheit, 2014).

El parámetro que suele ser recomendado para el análisis previo y posterior a una sesión de entrenamiento es el rMSSD, que mide el cambio cuadrático promedio entre latidos consecutivos (la diferencia sucesiva de los intervalos R-R). Esta medida se realiza en milisegundos, es sensible a variaciones a corto plazo y es poco sensible a la frecuencia respiratoria (Ortigosa et al., 2018; Plews et al., 2013). Valores altos de rMSSD reflejan predominancia parasimpática, indicando una adecuada recuperación y control frente al estrés y la fatiga; en cambio, valores bajos sugieren predominancia simpática y posible fatiga. Por lo tanto, es esperable que, tras una sesión de ejercicio intenso, el rMSSD descienda y se obtengan valores más bajos que antes de la sesión. Por este motivo, es interesante establecer comparativas de VFC pre y post sesión de entrenamiento como forma de monitorizar el efecto que los distintos métodos y cargas poseen en los deportistas.

3.5 Preferencia de entrenamiento por parte de los deportistas

Desde hace tiempo, los estudios en ciencias del deporte han mostrado un creciente interés por evaluar la preferencia y el grado de satisfacción de los deportistas frente a diferentes métodos y protocolos de entrenamiento. Se reconoce que la adherencia al programa de entrenamiento constituye un factor clave para mantener la práctica física en el tiempo, aspecto fundamental para alcanzar un rendimiento deportivo óptimo (Rhodes & Kates, 2015). La elección voluntaria o la inclinación subjetiva

hacia un determinado método puede influir directamente en la motivación, el compromiso y, en última instancia, en el rendimiento del deportista (Bartlett et al., 2011; Thum et al., 2017).

En este marco, la Escala de Preferencia desarrollada por Jung et al. (2014) ha sido utilizada como una herramienta válida para evaluar el agrado que los deportistas manifiestan hacia distintos programas o protocolos de entrenamiento. Esta escala se basa en dos ítems: primero, se pregunta cuál protocolo preferirían realizar si la decisión dependiera exclusivamente de ellos; en segundo lugar, se solicita una valoración cuantitativa en una escala del 1 al 7, donde 1 indica “completamente a gusto”, 4 representa una posición “neutral” y 7 “completamente a disgusto”. Esta doble aproximación permite no solo identificar la elección final, sino también matizar la intensidad del agrado o desagrado hacia cada protocolo, facilitando además el análisis matemático de las respuestas. Investigaciones recientes (Poon et al., 2023) han empleado esta escala de preferencia para evaluar y comparar metodologías de entrenamiento de resistencia.

4. Reseña metodológica

El presente estudio adopta un diseño cuasiexperimental, de carácter analítico y de corte transversal. La recolección de datos se realizó entre los meses de mayo y setiembre del año 2024.

4.1 Participantes

Participaron en el estudio 20 atletas de fondo (10 hombres y 10 mujeres), todos mayores de edad, que al momento de iniciar su participación se encontraban en actividad competitiva, entrenaban regularmente y competían en pruebas de pista y/o calle, federados por la Confederación Atlética del Uruguay.

Criterios de inclusión

Para ser incluidos en el estudio, los atletas debían contar con certificado de aptitud física (ficha médica) vigente al momento de la intervención. Además, debían cumplir los siguientes requisitos: *a)* tener entre 18 y 45 años; *b)* realizar al menos cinco sesiones de entrenamiento semanales; *c)* superar un kilometraje promedio semanal de 75.000 metros; *d)* encontrarse dentro de un período de entrenamiento competitivo; *e)* haber participado en al menos dos competencias durante la última temporada en distancias iguales o superiores a 5.000 metros; *f)* no presentar enfermedades cardiopulmonares, metabólicas ni lesiones musculoesqueléticas que pudieran interferir con los resultados del estudio; *g)* no consumir drogas, ni ser fumadores activos de tabaco (o haber dejado el hábito al menos 6 meses antes del estudio); *h)* contar con disponibilidad horaria y la posibilidad de traslado a los lugares estipulados para la intervención.

Durante el período de intervención, se solicitó a los atletas que mantuvieran sus hábitos alimentarios y su rutina de sueño inalterados. Las sesiones experimentales se realizaron con una frecuencia de dos veces por semana, sustituyendo en el microciclo de cada participante los entrenamientos más intensos. El resto de las sesiones fueron asignadas por el entrenador de cada atleta y declaradas a los investigadores.

La investigación fue aprobada por el Comité de Ética en Investigación del ISEF-UdelaR (fecha: 20/11/2022) y por el Comité de Ética del Centro Hospitalario Pereira Rossell (fecha: 24/11/2023) (*Anexo A*). El estudio se llevó a cabo siguiendo los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki (World Medical Association, 2013). Antes del inicio del estudio, todos los participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado que detallaba los beneficios y riesgos del procedimiento (*Anexo B*).

4.2 Protocolo experimental

La actividad experimental consistió en una sesión de evaluación inicial en el Laboratorio LIEBRE, ubicado en el Centro Hospitalario Pereira-Rossell, y tres sesiones de ejercicio en la Pista de Atletismo del Prado, de 400 m con piso sintético. Allí se buscó reproducir con la menor interferencia posible por parte de los investigadores, una situación real de entrenamiento.

4.2.1 Evaluación Inicial

En la primera sesión se midió a cada atleta la talla (estadiómetro SECA 213, SECA, Germany; precisión de 1 mm) y la masa corporal (balanza GA.MA. Italy Professional; precisión de 100 g) siguiendo la metodología ISAK. Adicionalmente, se estimó la composición corporal (en términos de masa grasa y masa magra), mediante un equipo de bioimpedancia InBody-120 (InBody Co., Korea). También, se completó un cuestionario sobre lesiones y patologías previas, experiencia deportiva y mejores marcas en competencia.

A continuación, se efectuó un test de esfuerzo máximo en tapiz rodante (General Electric T2100-ST2, USA), con aumento progresivo de la intensidad en forma de rampa. La inclinación permaneció durante toda la prueba al 1% (para aproximar el esfuerzo de carrera en pista). El test inició a una velocidad de 8 km/h y fue aumentando 1 km/h cada minuto hasta que el atleta llegara al agotamiento o solicitara parar por cualquier causa. Durante la prueba, los atletas fueron motivados en forma verbal a realizar el mayor esfuerzo posible para mantenerse corriendo el máximo tiempo.

Durante y en los minutos posteriores al test se monitorizó permanentemente la FC y el intercambio de gases respiratorios (MetaLyzer 3B CórteX, Germany; Polar H10, Finland), y se registraron parámetros hemodinámicos mediante cardiografía por impedancia (PhisioFlow CórteX, Germany).

4.2.2 Sesiones de entrenamiento

En las sesiones restantes se llevaron a cabo los tres protocolos de HIIT mencionados, todos con una distancia total de 6.000 m. El protocolo de entrenamiento de intervalos largos (PEL) consistió en cinco pasadas de 1200 m con 3'30" de pausa; el medio (PEM) en 15 pasadas de 400 m con 1'10" de pausa; y el corto (PEC) en 60 pasadas de 100 m con 18" de pausa (*Tabla 1*).

Tabla 1

Protocolos de Entrenamiento

Protocolo	Pasada (m)	Cantidad	Pausa
PEL	1200	5	3'30"
PEM	400	15	1'10"
PEC	100	60	18" *

Nota. *: Cada 12 pasadas se realizó una macropausa de 45"

Durante las pausas, se indicó a los atletas que permanecieran en reposo de pie o caminando lentamente, según su preferencia. La duración de la pausa se estandarizó para todos los corredores, siendo aproximadamente equivalente al tiempo requerido para completar cada pasada (relación trabajo/pausa 1:1). En el caso del protocolo PEC, las pausas destinadas a la extracción de sangre (de la yema del dedo) para el análisis de lactato fueron mayores (45 segundos), con el objetivo de asegurar la correcta toma de la muestra.

Todas las evaluaciones se realizaron en el mismo horario habitual de entrenamiento de cada atleta. La temperatura ambiente osciló entre 15 °C y 22 °C, y la humedad relativa entre 60 % y 80 %. Al inicio de cada sesión, se realizó una entrada en calor estandarizada, que consistió en 20 minutos de carrera continua a una velocidad inferior al primer umbral, seguidos de una breve rutina de elongación activa de los miembros inferiores. Luego, se completaron tres pasadas de 30 m con ejercicios técnicos de carrera: skipping medio, taloneo y skipping con rodillas extendidas

(conocido como “soldadito”). Finalmente, se realizaron cuatro carreras progresivas de 60 m, retornando caminando entre cada una.

La velocidad de carrera fue determinada en común acuerdo entre investigadores, atletas y entrenadores, con el objetivo de realizar ritmos exigentes pero sostenibles hasta el final del entrenamiento. Se estableció que en las pasadas de 1200 m la velocidad no debía ser menor al 90% de la máxima velocidad alcanzada en el test en rampa (V_{Inc}.Test); en las de 400 m, no menor al 95%; y en las pasadas de 100 m se encomendó correr a una velocidad aún mayor (siguiendo el criterio de la *Figura 3*). Además, se indicó que, en la medida de lo posible, los atletas incrementaran el ritmo en las últimas pasadas, a modo de “remate”.

En cuanto al orden de los protocolos, en todos los casos se realizó primero PEL, luego PEM y, por último, PEC; la falta de aleatorización se decidió con el fin de garantizar un aumento progresivo de la intensidad conforme disminuía la duración de los intervalos en los distintos protocolos. Entre evaluaciones, se dejó un plazo mínimo de dos y máximo de seis días. En ningún caso se realizó actividad física de alta intensidad durante las 48 horas previas a la intervención.

Previo a cada evaluación, se administró el cuestionario de Hooper Index (Hooper et al., 1995), un instrumento psicométrico ecológico utilizado para evaluar la percepción de recuperación y el estado general del atleta en base a cuatro parámetros: sensación de fatiga, estrés, dolor muscular y calidad del sueño (*Figura C1 en Anexo C*). Cada ítem se puntúa de 1 (muy positivo) a 7 (muy negativo). Por ejemplo, un valor de 1 en el ítem sueño indica “sueño muy bueno”, mientras que 7 representa “sueño muy malo”. El puntaje total varía entre 4 y 28: cuanto menor el valor, mejor es la disposición del atleta para entrenar. Se consideran valores buenos aquellos entre 8 y 15.9, y valores promedio entre 16 y 19.9. En este estudio, el cuestionario fue utilizado como criterio de control: los atletas no debían registrar 20 puntos o más, ni mostrar diferencias superiores a 5 puntos respecto a sesiones anteriores, con el fin de garantizar la comparabilidad entre protocolos.

4.2.3 Mediciones durante e inmediatamente posterior al entrenamiento

Medición de gases respiratorios y frecuencia cardíaca

Al igual que en la primera sesión (evaluación inicial), en estas tres sesiones se monitorizó el intercambio gaseoso durante la realización de los entrenamientos, pero en estos casos con un espirómetro portátil (MetaMax 3B CórteX, Leipzig). Se midió el VO_2 de toda la sesión, distinguiendo los intervalos de esfuerzo y pausa. De igual manera, se midió la FC de forma permanente (Sensor Polar H10, Finland), obteniendo valores de FC durante toda la sesión.

Medición de lactato sanguíneo

También se analizó la concentración de lactato sanguíneo (Super GL compact, Dr. Müller, Germany). Para ello, se extrajeron cinco muestras de sangre de la yema de los dedos de la mano, cada vez que se completó 20% de la distancia total a recorrer.

Percepción subjetiva de esfuerzo (RPE)

La escala de Borg modificada de 1 a 10 (Borg, 1982) es una escala para la ponderación de niveles de esfuerzo. El deportista debía seleccionar el valor que, a su entender, representara con mayor exactitud los niveles de fatiga y desgaste que le estaba demandando la carga de entrenamiento (*Anexo E*). La escala de Borg se aplicó cinco veces durante cada protocolo, cuando se completaba el 20% de la distancia total a recorrer (en el mismo momento de las extracciones de sangre). También se aplicó siete minutos después de finalizado el ejercicio, en este caso solicitando al atleta que considerara la totalidad de la sesión y diferenciara una RPE de piernas y una RPE respiratoria.

4.2.4 Mediciones pre y post entrenamiento

Variabilidad de la frecuencia cardíaca

Se registró la VFC pre y post esfuerzo con un sensor de banda (Sensor Polar H10, Finland) a través de la aplicación para teléfonos móviles HRV Logger (A.S.M.A. B.V.). Para obtener los datos, el atleta se colocaba acostado en decúbito dorsal de forma relajada, en silencio y a la sombra. El registro se realizó durante dos minutos; el primero se consideró de estabilización y el segundo de medición. Los registros previos se realizaron 10 minutos antes de empezar el trabajo principal y los posteriores 10 minutos después de culminada la última pasada. Las variables

obtenidas fueron SDNN, rMSSD y AVNN, pero la única que se consideró para el análisis fue rMSSD, por ser la más sensible a las variaciones a corto plazo (Cipryan, 2016; Melo et al., 2018).

Altura de salto con contramovimiento (CMJ)

Para analizar las respuestas neuromusculares, se realizó un test de salto con contramovimiento (CMJ) para medir la altura de salto alcanzada antes y después del ejercicio. Este test se aplicó 12 minutos antes y 12 minutos después de finalizado el entrenamiento, y se midió con una alfombra de salto (Chronojump - Boscosystem, España). En cada toma de datos se registraron tres saltos, separados por un minuto, y se consideró el de mayor altura.

4.2.5 Preferencia de entrenamiento (culminada la intervención)

La Escala de Preferencia (Jung et al., 2014) se aplicó 24 horas después de finalizada la última sesión. Consiste en realizarle al atleta dos preguntas: primero, cuál de los tres protocolos de entrenamiento elegiría realizar si dependiera completamente de él; y segundo, en una escala del 1 al 7, seleccionar su grado de gusto por cada protocolo, donde 7 representa “completamente a disgusto”, 4 “neutro” y 1 “completamente a gusto”.

4.3 Análisis de datos

Los datos fueron presentados a través de medidas de tendencia central y dispersión. Las bases de datos fueron depuradas y unificadas en planillas de cálculo, y posteriormente se importaron al software RStudio versión 2024.12.21 (RStudio Team, 2020).

Para evaluar las respuestas fisiológicas de los protocolos de entrenamiento sobre el consumo de oxígeno relativo (VO_2/kg), frecuencia cardíaca (FC) y frecuencia respiratoria (FR), se realizaron ANOVAs de medidas repetidas con diseño intrasujeto. Los análisis consideraron los protocolos (PEL, PEM, PEC) como factor principal y su interacción con la variable fase (tiempo de esfuerzo y tiempo de pausa).

Asimismo, se realizaron ANOVAs de medidas repetidas para evaluar las diferencias entre protocolos en el tiempo total acumulado (en segundos) que los participantes se mantuvieron por encima del 90% del $\text{VO}_2\text{máx}$ y FCmáx . Por otra parte, se efectuaron ANOVAs de medidas repetidas para comparar, entre protocolos, el tiempo que cada atleta demoró en alcanzar por primera vez el 90% para las mismas variables.

Cuando se detectaron violaciones del supuesto de esfericidad (evaluado mediante el test de Mauchly), se aplicaron las correcciones de Greenhouse-Geisser o Huynh-Feldt, según correspondiera, para ajustar los grados de libertad y mantener la validez de las pruebas F. En todos los casos se evaluó la normalidad de los residuos mediante el test de Shapiro-Wilk. De no cumplirse este supuesto, se realizó un test de Friedman manteniendo la misma estructura del modelo propuesto en el ANOVA de medidas repetidas. Las comparaciones post hoc entre protocolos para todos los ANOVAs empleados se realizaron mediante el método de Bonferroni, y en el caso del test de Friedman, a través del post hoc de Wilcoxon.

Para analizar las diferencias de la RPE entre los protocolos se utilizó un enfoque basado en estadística no paramétrica, considerando la naturaleza ordinal de los datos. En primer lugar, se calcularon las medianas de la percepción de esfuerzo para cada pasada dentro de cada protocolo. Posteriormente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar la existencia de diferencias globales en la percepción de esfuerzo entre los tres protocolos. En caso de encontrar diferencias significativas, se llevó a cabo la comparación entre pares de los protocolos con un análisis post hoc mediante el test de Dunn, utilizando la corrección de Bonferroni para ajustar los valores de significancia y controlar el error tipo I en las comparaciones múltiples. Este procedimiento, al igual que en los análisis mencionados anteriormente, permitió identificar qué pares de protocolos diferían significativamente entre sí, proporcionando una interpretación detallada de los efectos observados. El mismo procedimiento se replicó para analizar la percepción de esfuerzo respiratorio y de piernas al finalizar cada sesión.

En el análisis de CMJ y VFC también se realizó un ANOVA de medidas repetidas de dos vías (Protocolo $\times$ Tiempo), así como la prueba Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los residuos.

5. Resultados

Participaron en el estudio 20 atletas. Todos completaron las cuatro sesiones de evaluación requeridas para el desarrollo de la investigación.

5.1 Características de los atletas

En la *Tabla 2* se presentan resumidamente las características de los atletas en cuanto a edad, altura y composición corporal.

Tabla 2
Características de los sujetos

	Todos	Hombres (n=10)	Mujeres (n=10)
Edad	31.4 ± 5.4	31.8 ± 6.7	31.3 ± 4.3
Altura	167.7 ± 7.9	173.4 ± 3.5	162.0 ± 6.8
Masa corporal	60.4 ± 6.3	65.8 ± 4.3	56.8 ± 5.0
% masa grasa	17.5 ± 4.5	16.3 ± 2.0	19.3 ± 4.3
Masa grasa	11.2 ± 3.9	10.6 ± 1.6	12.1 ± 4.6
Masa muscular	27.6 ± 3.5	30.6 ± 2.16	25.5 ± 2.7

Nota. Edad (años); altura (cm); Masa corporal (kg), % masa grasa (%). Masa grasa y muscular (kg).

Los 20 participantes se encontraban compitiendo en pruebas de atletismo de fondo desde hacía al menos dos años (7.8 ± 5.8), y habían mantenido un entrenamiento ininterrumpido durante al menos los tres meses previos al estudio. Todos reportaron realizar entre cinco y siete sesiones de entrenamiento semanales (la mayoría seis), de las cuales entre dos y tres eran de alta intensidad. Además, todos los sujetos declararon incluir entrenamientos específicos de fuerza como parte de su planificación semanal.

Los atletas presentaban registros en competencias que les permitían clasificarse a torneos de nivel nacional en la categoría élite, o acceder a campeonatos nacionales de pista. En la *Tabla D1*, ubicada en el *Anexo D*, se presentan las mejores marcas en competencias oficiales previas a la intervención para cada uno de los participantes.

A partir de la evaluación inicial se encontró que, en el grupo masculino, el VO_2 pico fue 4.14 ± 0.36 L/min, el VO_2 pico relativo a la masa 63.7 ± 3.95 mL·kg⁻¹·min⁻¹, y el

pulso de oxígeno (VO_2/FC) $23.2 \pm 2.74 \text{ mL/lat}\cdot\text{min}^{-1}$. La FCmáx alcanzó un valor de $189.1 \pm 6.08 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$, el VS máximo fue $173.21 \pm 22.55 \text{ mL}$ y el GC máximo $30.32 \pm 3.71 \text{ L/min}$.

En el grupo femenino, el VO_2 pico fue $3.17 \pm 0.24 \text{ L/min}$, el VO_2 pico relativo $56.10 \pm 4.31 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, y el pulso de oxígeno $17.50 \pm 1.35 \text{ mL/lat}\cdot\text{min}^{-1}$. La FCmáx fue $187.5 \pm 6.96 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$, el VS máximo $167.01 \pm 12.95 \text{ mL}$, y el GC máximo $28.65 \pm 3.85 \text{ L/min}$. La *Tabla 3* presenta estos valores detallados individualmente para cada participante.

Tabla 3
Resultados evaluación inicial

H	$\text{VO}_2\text{máx}$	VO_2/kg	VO_2/FC	FCmáx	VS Máx	GC Máx	M	$\text{VO}_2\text{máx}$	VO_2/kg	VO_2/FC	FCmáx	VS Máx	GC Máx
S1	3.95	68	22	192	184.1	32.8	S5	3.39	61	18	190	189.3	29.7
S2	4.26	62	24	182	171.3	29.2	S7	3.49	59	20	177	178.1	30.8
S3	4.00	64	23	179	202.2	34.7	S9	3.01	63	16	196	161.0	30.8
S4	4.83	69	29	186	191.6	33.8	S10	3.00	57	17	197	148.7	26.7
S6	4.24	61	26	186	178.4	26.3	S11	2.81	49	16	186	176.8	31.1
S8	3.99	67	22	190	126.9	23.5	S12	3.46	55	18	192	162.4	30.7
S13	3.93	64	20	200	-*	-*	S15	3.31	52	19	192	165.0	28.5
S14	4.66	66	24	194	149.7	28.6	S16	3.11	53	17	182	169.7	30.5
S17	3.93	59	22	190	179.2	32.4	S19	2.93	54	16	184	-*	-*
S18	3.63	57	20	192	175.5	31.7	S20	3.19	58	18	179	152.1	19.1
4.14	63.7	23.3	189.1	173.2	30.3		3.17	56.1	17.5	187.5	167	28.7	

Nota. $\text{VO}_2\text{máx}$ (L/min); VO_2/kg ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$); VO_2/FC ($\text{mL/lat}\cdot\text{min}^{-1}$); FCmáx ($\text{lat}\cdot\text{min}^{-1}$); el VS máx (mL); GC máx (L/min). H: Hombres; M: Mujeres; *: datos faltantes por error de registro debido a desprendimiento de electrodos.

En relación a los umbrales ventilatorios, los atletas masculinos alcanzaron el VT1 al $72.5 \pm 5.4\%$ del VO_2 pico y el VT2 al $88.8 \pm 3.9\%$. En las mujeres, estos valores se ubicaron al $79.4 \pm 4.6\%$ y $89.9 \pm 4.4\%$, respectivamente. Como puede observarse, los valores promedio de VT2 fueron relativamente similares entre ambos grupos. No obstante, en las mujeres, el VT1 se presentó a una intensidad más cercana al VO_2 pico en comparación con los hombres.

5.2 Respuestas de los tres protocolos de entrenamiento

En todos los casos, el entrenamiento de menor duración fue PEL, con un promedio de 33'23" para los hombres y 37'15" para las mujeres, seguido por PEM con 34'57" y 38'29", respectivamente, y, por último, PEC, con una duración de 38'06" para los atletas masculinos y 41'05" para las atletas femeninas.

En cuanto a la velocidad de desplazamiento, PEL fue el entrenamiento en el que los atletas corrieron más lento, con un promedio de 23"26 cada 100 metros para hombres y 27"55 para mujeres, seguido por PEM con promedios de 18"36 y 21"13 respectivamente. El protocolo en el que los atletas corrieron más rápido fue PEC, con un promedio de 17"83 para los atletas masculinos y 20"90 para las femeninas. Esta información se puede observar en detalle en la *Tabla 4*.

Tabla 4

Velocidades de desplazamiento: equiparados cada 100 metros.

Protocolo	PEL	PEM	PEC
Todos	25"28 (4'12")	19"68 (78")	19"28
Hombres	23"26 (3'52")	18"36 (73")	17"83
Mujeres	27"55 (4'35")	21"13 (84")	20"90

Nota. Entre paréntesis figura el promedio total de las pasadas

5.2.1 Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas se presentan en el siguiente orden: primero, los datos de VO_2 correspondientes al tiempo total de entrenamiento (esfuerzo + pausa), seguidos por los valores durante el tiempo de esfuerzo y, luego, durante el tiempo de pausa. A continuación, se exponen los resultados de FC con la misma secuencia, y finalmente, los de FR. Por último, se presenta el tiempo acumulado por encima del 90% del $VO_{2\text{máx}}$ y de la $FC_{\text{máx}}$, así como el tiempo requerido para alcanzar dicha zona de intensidad en cada protocolo.

Los investigadores optaron por no incluir los datos de lactato sanguíneo en los resultados debido a inconvenientes técnicos con el equipo, que impidieron completar las mediciones en algunos participantes y comprometieron la fiabilidad de los registros.

La *Tabla 5* presenta los valores promedio por protocolo de VO_2 relativo, FC y FR para el total de sujetos incluidos en el análisis. En este procesamiento, se excluyeron dos participantes debido a dificultades en el cronometraje en alguno de los protocolos. Además, para los análisis específicos de FC, se excluyeron dos sujetos adicionales por errores de registro del sensor de banda torácica en al menos uno de los protocolos.

Tabla 5
Media de VO_2/kg , FC y FR ($\pm$ DE) por fase de entrenamiento

Todos	Fase	VO_2/kg ($\pm$ DE)	FC ($\pm$ DE)	FR ($\pm$ DE)
PEL	Total	42.73 ($\pm$ 16.1)	158.1 ($\pm$ 27.7)	45.1 ($\pm$ 25.3)
	Trabajo	52.37 ($\pm$ 9.5)	171.1 ($\pm$ 20.1)	49.5 ($\pm$ 26.8)
	Pausa	26.80 ($\pm$ 11.6)	136.6 ($\pm$ 24.9)	37.8 ($\pm$ 20.6)
PEM	Total	42.78 ($\pm$ 10.8)	165.1 ($\pm$ 20.4)	39.6 ($\pm$ 29.1)
	Trabajo	46.81 ($\pm$ 9.1)	169.6 ($\pm$ 19.0)	43.3 ($\pm$ 31.2)
	Pausa	37.25 ($\pm$ 10.5)	159.0 ($\pm$ 20.8)	34.4 ($\pm$ 25.1)
PEC	Total	45.28 ($\pm$ 6.8)	172.5 ($\pm$ 12.5)	42.3 ($\pm$ 28.4)
	Trabajo	46.04 ($\pm$ 6.4)	172.3 ($\pm$ 13.2)	46.9 ($\pm$ 30.3)
	Pausa	44.45 ($\pm$ 7.3)	172.7 ($\pm$ 11.6)	37.2 ($\pm$ 25.3)

Nota. VO_2/kg ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$); FC ($\text{lat} \cdot \text{min}^{-1}$); FR (rpm).

En lo que respecta al VO_2/kg , si se considera el tiempo total de entrenamiento, se observa el siguiente orden (de mayor a menor): $45.28 \pm 6.8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ para PEC; 42.78 ± 10.8 para PEM y 42.73 ± 16.1 para PEL. Estas diferencias son estadísticamente significativas ($p < 0.001$) con un tamaño del efecto grande ($\eta^2 p = 0.669$). Los resultados de ANOVA para VO_2/kg se presentan en la *Tabla G1 del Anexo G*. El análisis post hoc entre protocolos arrojó diferencias significativas en todas las comparaciones. Los detalles se encuentran en la *Tabla 6*.

Al distinguir por fase de entrenamiento y sus interacciones con los protocolos también se encuentran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$; $\eta^2 p = 0.962$). Si se considera únicamente el tiempo de trabajo, el orden se invierte con respecto al total de la sesión: $52.37 \pm 9.5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ para PEL; 46.81 ± 9.1 para PEM y 46.04 ± 6.4 para PEC. En esta comparación, se observaron diferencias

estadísticamente significativas entre PEL y los otros dos protocolos, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre PEM y PEC (*Tabla 6*). Por otro lado, en el análisis del VO_2/kg durante las pausas, se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) en todas las comparaciones entre protocolos.

Tabla 6

Diferencias de valores medios de VO_2/kg y FC entre protocolos

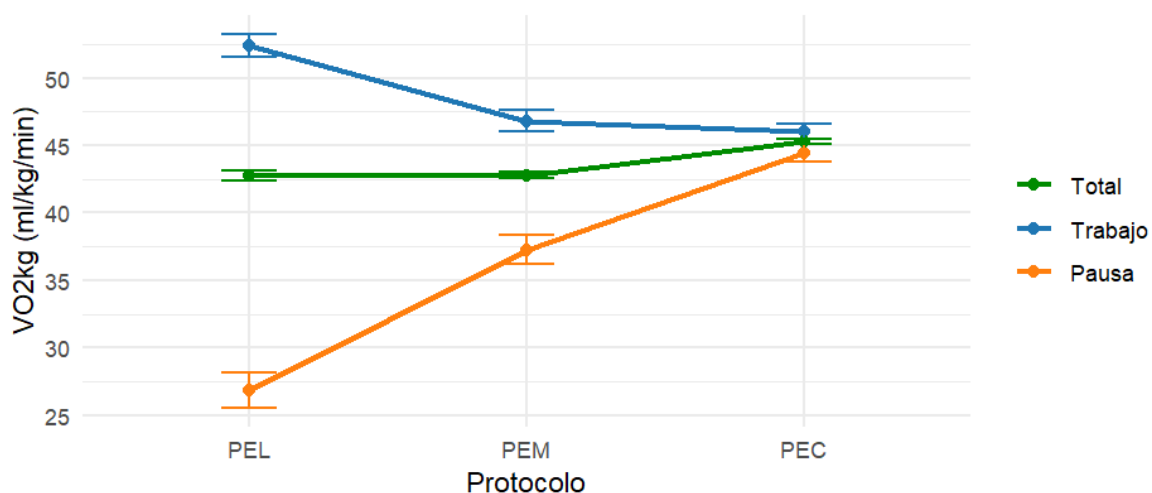
Protocolos	VO_2/kg (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)			FC (lat·min ⁻¹)		
	Total	Trabajo	Pausa	Total	Trabajo	Pausa
PEL vs PEM	-2.56*	+5.43*	-10.55*	-10.43*	+1.37	-22.22*
PEL vs PEC	-5.71*	+6.34*	-17.76*	-18.79*	-1.54	-36.05*
PEM vs PEC	-3.15*	+0.91	-7.21*	-8.37*	-2.90	-13.83*

Nota. * = $p < 0.001$

En la *Figura 4* se pueden observar los resultados de VO_2 representados gráficamente.

Figura 4

Media de VO_2/kg según protocolo y fase del entrenamiento.



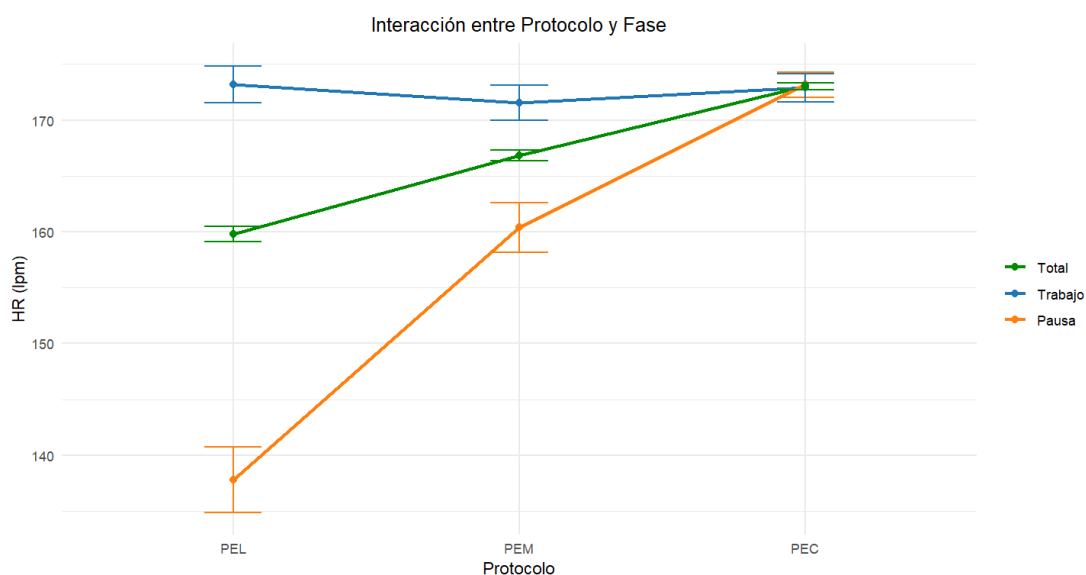
Nota. Las barras de error muestran intervalos de confianza de 95 %

Con respecto a la FC, como se observa en la *Tabla 5*, el comportamiento en el tiempo total de entrenamiento es similar al del VO_2/kg , presentando el mayor promedio en PEC, luego en PEM y el menor en PEL. Estas diferencias son estadísticamente significativas ($p < 0.001$; $\eta^2p = 0.818$). Los resultados estadísticos

se presentan en la *Tabla G2* del *Anexo G*. En la comparación entre protocolos, todas las diferencias fueron significativas, como se observa en la *Tabla 6*. Por otra parte, se hallaron diferencias significativas entre los protocolos y sus interacciones con las fases de entrenamiento ($p < 0.001$; $\eta^2p = 0.910$). No obstante, no se halló diferencias significativas entre protocolos al considerar únicamente el tiempo de trabajo. En este caso, los valores medios de latidos por minuto fueron 171.1 ± 20.1 ; 169.6 ± 19.0 y 172.3 ± 13.1 , para PEL, PEM y PEC, respectivamente.

En contraste, las respuestas de la FC durante los períodos de pausa mostraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre todos los protocolos. Esta información se presenta en la *Figura 5*.

Figura 5
Media de FC según protocolo y fase del entrenamiento



Nota. Las barras de error muestran intervalos de confianza de 95 %.

Un resultado a destacar, observado en la mayoría de los participantes, fue que en PEC los valores medios de FC fueron similares entre los períodos de esfuerzo y de pausa; incluso, en varios casos, se registró un valor levemente superior durante la pausa (*Tabla 5*). En la *Tabla 7* se presenta esta información diferenciada por sexo, donde se observa la misma tendencia, ligeramente más acentuada en mujeres que en hombres.

Tabla 7*Media de VO₂/kg, FC y FR (± SD) por fase distinguido por sexo*

	Fase	VO ₂ /kg (±DE)	FC (±DE)	FR (±DE)	H	VO ₂ /kg (±DE)	FC (±DE)	FR (±DE)	M
	<i>Total</i>	44.56 (±17.0)	157.0 (±27.6)	47.7 (±26.4)		40.35 (±14.7)	159.6 (±27.7)	41.9 (±23.4)	
PEL	<i>Trabajo</i>	55.17 (±9.8)	170.4 (±19.9)	52.9 (±28.2)		48.95 (±8.0)	171.9 (±20.5)	45.1 (±24.3)	
	<i>Pausa</i>	28.33 (±12.2)	136.3 (±25.0)	39.6 (±21.0)		24.58 (±10.5)	136.9 (±24.9)	35.2 (±19.9)	
	<i>Total</i>	44.98 (±11.2)	165.2 (±19.9)	38.14 (±32.3)		39.98 (±9.6)	165.2 (±21.2)	41.5 (±24.5)	
PEM	<i>Trabajo</i>	49.46 (±9.3)	170.1 (±17.8)	42.5 (±35.2)		43.62 (±7.9)	169.0 (±20.4)	44.5 (±25.7)	
	<i>Pausa</i>	39.19 (±10.8)	158.7 (±20.6)	32.5 (±27.2)		34.60 (±9.3)	159.4 (±21.1)	37.1 (±21.8)	
	<i>Total</i>	47.74 (±6.9)	170.3 (±13.3)	34.1 (±30.7)		42.24 (±5.5)	175.3 (±10.9)	52.2 (±21.6)	
PEC	<i>Trabajo</i>	48.13 (±6.5)	170.1 (±14.0)	38.2 (±33.5)		43.64 (±5.3)	174.7 (±11.9)	57.0 (±22.3)	
	<i>Pausa</i>	47.35 (±7.2)	170.3 (±12.5)	30.3 (±27.03)		40.58 (± 5.3)	175.8 (±9.4)	46.6 (±19.4)	

Nota. H: Hombres; M: Mujeres. VO₂/kg (mL·kg⁻¹·min⁻¹), FC (lat·min⁻¹), FR (rpm).

En cuanto a la FR, no se observaron diferencias significativas entre protocolos durante el tiempo total de entrenamiento ($p = 0.754$). Lo mismo ocurrió durante el tiempo de esfuerzo ($p = 0.678$). Para el tiempo de pausa sí se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.001$), indicando que al menos uno de los protocolos difiere significativamente de los demás. Sin embargo, en el análisis post hoc para el tiempo de pausa no se confirmaron dichas diferencias significativas entre ninguno de los protocolos (p ajustada = 0.08).

A continuación, se describe el tiempo acumulado por encima del 90% del VO₂máx (T@VO₂máx) y de la FCmáx, así como el tiempo necesario para alcanzar dichos umbrales de intensidad. Se halló que PEL obtuvo la mayor cantidad de tiempo (641.3 ± 282.6 s), seguido por PEM (320.2 ± 253.0 s) y por último, PEC (149.7 ± 253.9 s). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0.001$), como se muestra en la *Tabla 8*. Es de destacar las notorias diferencias que hubo entre los participantes, aspecto que se refleja en los elevados desvíos estándar.

En la *Figura 8-A* se puede ver la siguiente información expresada gráficamente.

Tabla 8*Tiempos en “zona roja” según protocolos.*

	PEL	PEM	PEC	p valor
T. VO₂ ≥90% (s)	641.3 ± 282.6	320.2 ± 253.0	149.7 ± 253.9	<.001*
FC ≥90% (s)	1021.4 ± 299.0	1102.7 ± 411.2	1512.2 ± 789.6	.019*
T. inicio VO₂ ≥90%(s)	47.9 ± 15.4	194.6 ± 340.8	140.4 ± 76.0	<.001*
T. inicio FC ≥90 %(s)	146.3 ± 269.2	186.7 ± 424.2	521.2 ± 770.0	<.001*

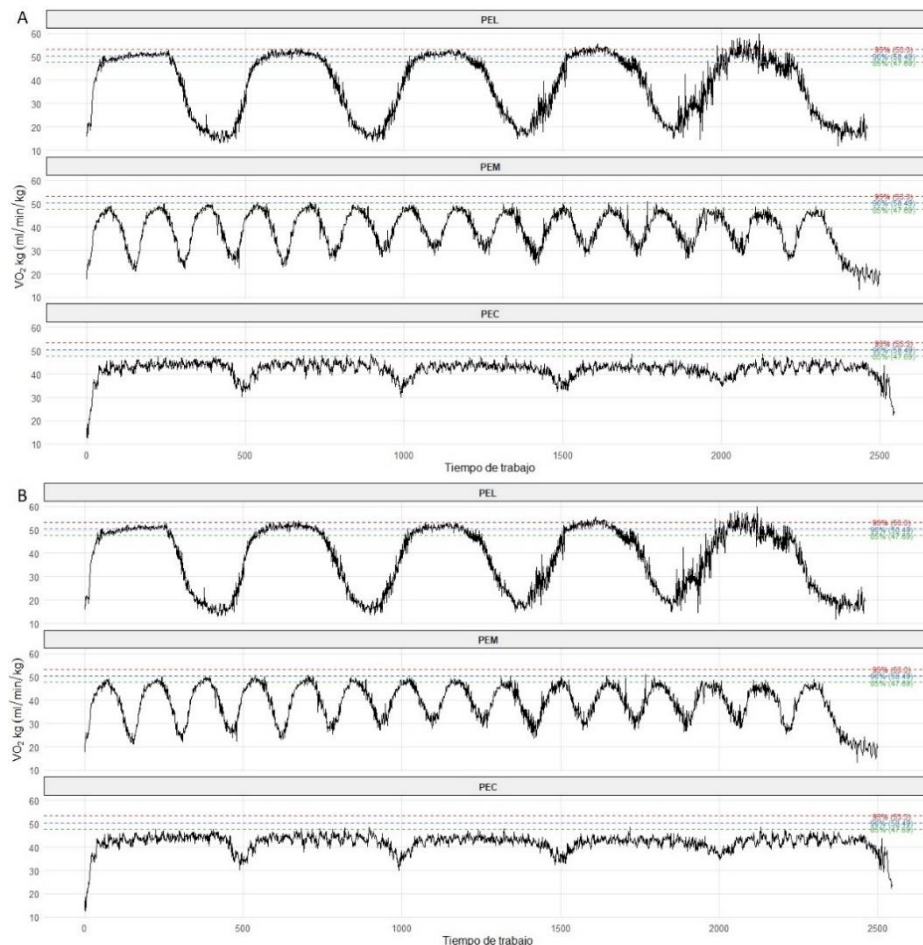
Nota. Unidad: segundos. *= significancia estadística.

En la comparación de T@VO₂máx según protocolos se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los tres casos: PEL vs PEM ($p < 0.001$), PEL vs PEC ($p < 0.001$) y PEM vs PEC ($p = 0.015$).

En cuanto a la cantidad de segundos que demoran los atletas en alcanzar el 90% de su VO₂máx, los resultados arrojaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$). PEL presentó un valor significativamente menor (47.9 ± 15.4 s) en comparación con PEC (140.4 ± 76.0 s), diferencia que fue confirmada por el análisis post hoc (p ajustado = 0.001). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre PEL vs PEM (p ajustado = 0.115), ni PEM vs PEC (p ajustado = 0.173). En la *Figura 6* se puede observar la evolución del VO₂/kg durante toda la sesión de entrenamientos diferenciada por sexo. Las líneas punteadas horizontales indican los valores medios entre atletas al 85, 90 y 95% del VO₂máx. Estas referencias son útiles para visualizar el tiempo aproximado que se encuentran por encima de esas zonas de intensidad.

Figura 6

Evolución del VO_2/kg por protocolo: A) en hombres y B) en mujeres

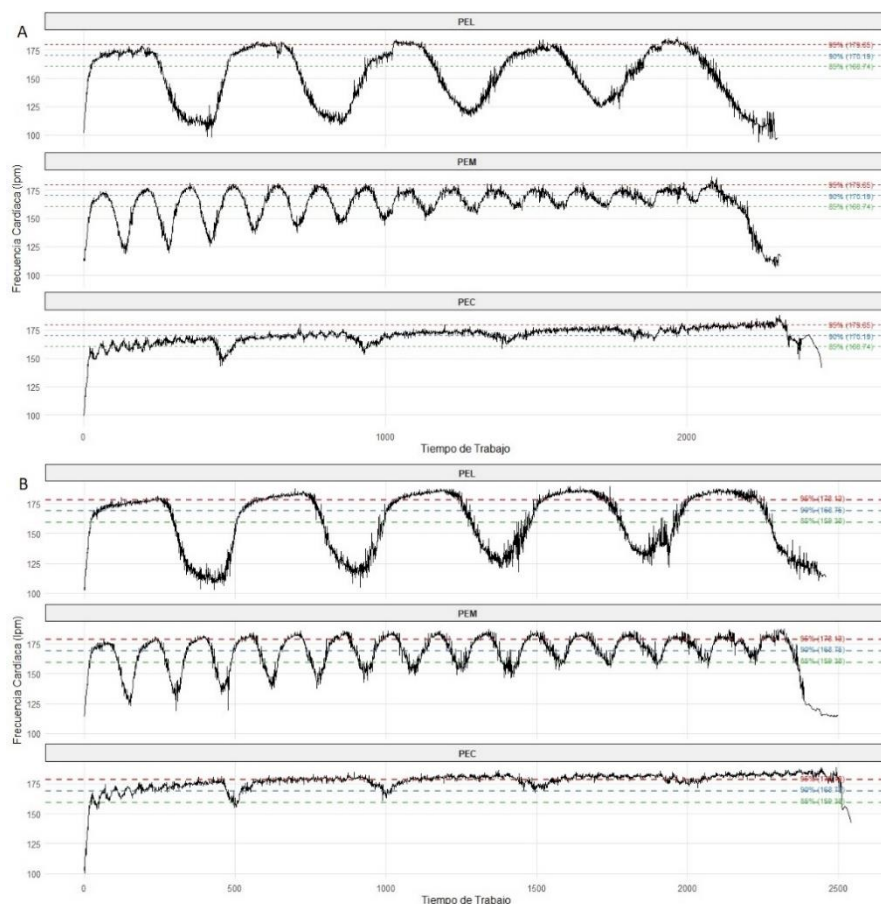


Nota. Líneas punteadas: azul (90 % $\text{VO}_2/\text{máx}$); roja (95 % $\text{VO}_2/\text{máx}$); verde (85 % $\text{VO}_2/\text{máx}$).

Al realizar el mismo análisis para la FC, se observa que el tiempo acumulado por encima del 90% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$ es considerablemente mayor que el correspondiente al 90% del $\text{VO}_2/\text{máx}$. En este caso, el orden se invierte en cuanto a la duración en segundos, ya que en PEC los atletas permanecieron 1512.2 ± 789.6 s; en PEM 1102.7 ± 411.2 s y en PEL 1021.4 ± 299.0 s (*Tabla 8*). Estos resultados mostraron diferencias significativas ($p = 0.019$). La comparación post hoc reveló diferencias significativas entre los protocolos PEL vs PEC ($p = 0.008$) y PEM vs PEC ($p = 0.006$), mientras que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre PEL vs PEM ($p = 0.756$). En la *Figura 7* se puede observar la evolución media de FC para hombres y para mujeres.

Figura 7

Evolución de la FC por protocolo: A) en hombres y B) en mujeres



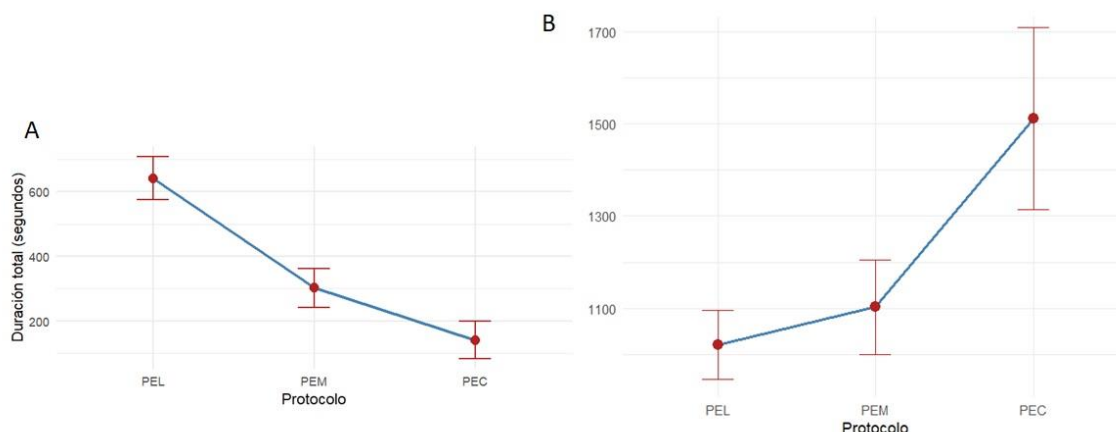
Nota. Líneas punteadas: azul (90 % $\text{VO}_2/\text{máx}$); roja (95 % $\text{VO}_2/\text{máx}$); verde (85 % $\text{VO}_2/\text{máx}$).

Por último, la cantidad de segundos que requirió cada atleta para alcanzar el 90% de su $\text{FC}_{\text{máx}}$ fue 146.3 ± 269.2 en PEL, 186.7 ± 424.2 en PEM y 521.2 ± 770.0 en PEC. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas entre los protocolos ($p < 0.001$). La comparación post hoc reveló diferencias significativas en PEL vs PEC (p ajustado = 0.012) y PEM vs PEC (p ajustado = 0.003); no se encontraron diferencias significativas entre PEL vs PEM (p ajustado = 1.000).

En la *Figura 8-B* se muestra gráficamente el tiempo promedio que los atletas permanecieron por encima del 90% del VO_2 y de la FC en cada protocolo. Para mayor claridad, se recuerda que 600 segundos equivalen a 10 minutos y 1500 segundos a 25 minutos.

Figura 8

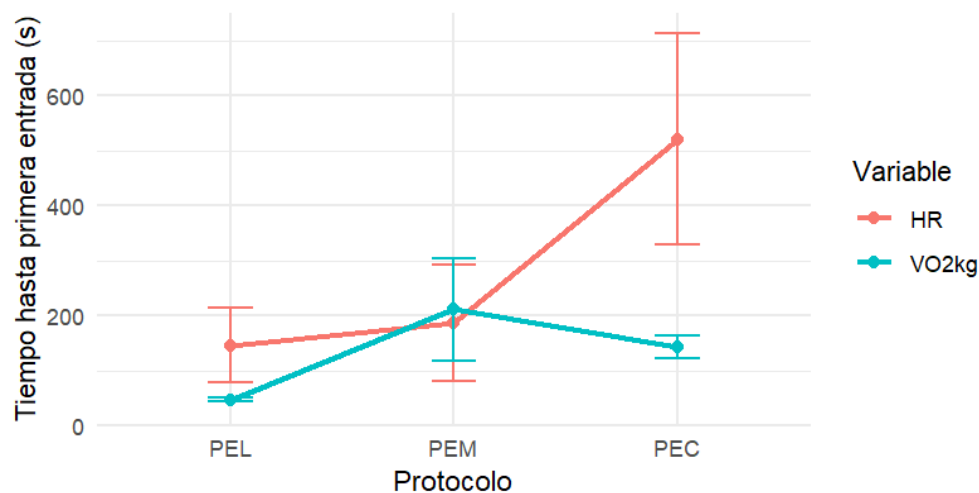
Media de tiempo sobre el 90% del máximo: A) VO_2/kg y B) FC.



En la *Figura 9* se puede ver el tiempo que se demora en alcanzar el 90% del máximo de VO_2 y FC por protocolo.

Figura 9

Media de tiempo hasta alcanzar el 90% del máximo de VO_2/kg y FC.

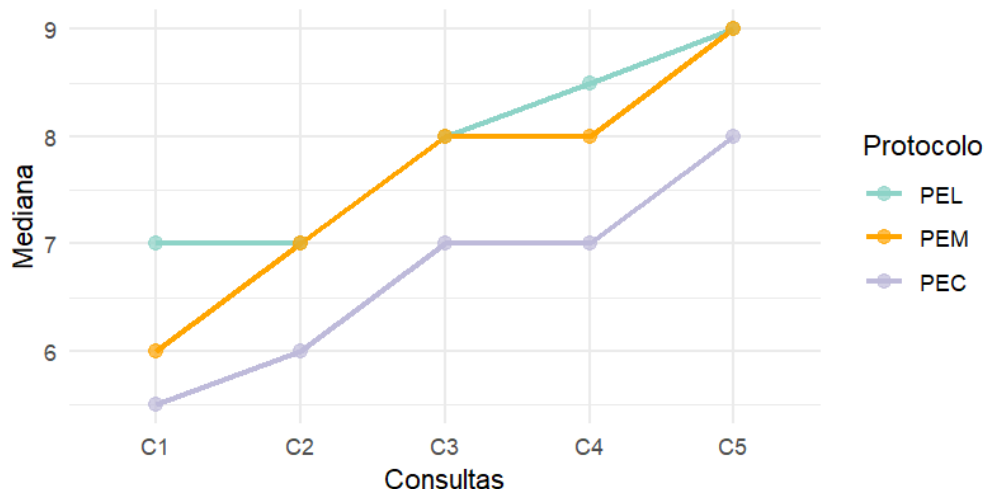


5.2.2 Percepción subjetiva del esfuerzo

Las respuestas en la escala de Borg durante los tres protocolos de entrenamiento mostraron una tendencia creciente a lo largo de cada una de las sesiones de entrenamiento (*Figura 10*). La mediana de la RPE fue de 8 para PEL y PEM, y de 7 para PEC. Estos resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre protocolos, según la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.011$).

Figura 10

Mediana de la RPE para cada protocolo por consulta

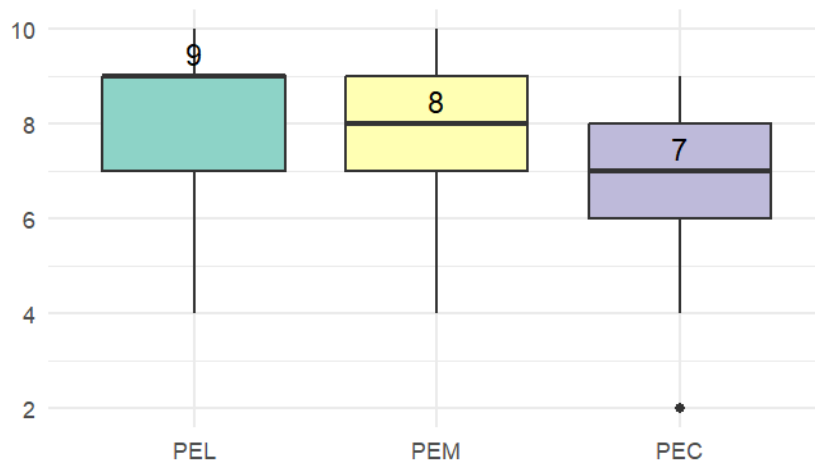


El análisis de comparaciones múltiples reveló diferencias significativas entre PEC y PEL (p ajustado = 0.005; $Z = -2.889$), así como entre PEC y PEM (p ajustado = 0.050; $Z = -2.120$). No se encontraron diferencias significativas entre PEL y PEM (p ajustado = 0.663; $Z = 0.768$).

La RPE respiratorio declarada al final del entrenamiento mostró diferencias significativas entre los protocolos ($p = 0.008$). El contraste por pares indicó una diferencia significativa entre PEC y PEL ($p = 0.004$), mientras que la comparación entre PEC y PEM arrojó un valor p ajustado ligeramente superior al umbral de significancia ($p = 0.054$). No se encontraron diferencias significativas entre PEL y PEM ($p = 0.550$) (Figura 11).

Figura 11

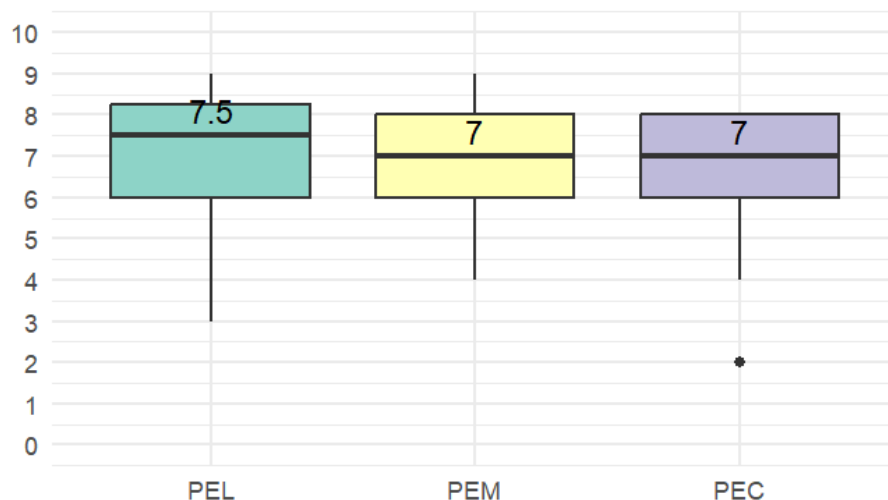
Mediana de la RPE respiratorio para cada protocolo



En cuanto al esfuerzo percibido en las piernas, no se encontraron diferencias significativas entre los tres protocolos ($p = 0.338$). Como se observa en la *Figura 12*, la mediana de esta percepción no supera el valor de 0.5, en ninguno de los casos, en una escala del 1 al 10.

Figura 12

Mediana RPE de piernas para cada protocolo



5.2.3 Preferencias de entrenamiento

En cuanto a la preferencia de protocolos posterior al entrenamiento, el 50% de los atletas (10 participantes) seleccionó al PEM como el entrenamiento que preferirían realizar si la decisión dependiera únicamente de ellos. El 50% restante se dividió equitativamente entre PEL y PEC (*Tabla 9*).

Tabla 9
Escala de Preferencia

¿Cuál elegirías?				Gusto del 1 al 7		
N	PEL	PEM	PEC	PEL	PEM	PEC
S1		X		3	2	3
S2			X	4	2	1
S3		X		4	2	6
S4			X	5	4	2
S5	X			1	4	4
S6			X	6	3	2
S7		X		6	1	2
S8	X			2	4	4
S9		X		6	1	2
S10			X	3	4	1
S11	X			2	3	6
S12		X		5	2	4
S13		X		4	1	2
S14	X			1	4	4
S15		X		4	1	7
S16		X		4	1	1
S17		X		3	1	2
S18			X	4	4	1
S19	X			2	5	4
S20		X		3	1	1
Suma:	5	10	5	72	50	59
Media ± DE				3.6 ± 1.5	2.5 ± 1.4	2.95 ± 1.9
Mediana				4	2	2

Nota: 7 = completamente a disgusto; 4 = *neutro*; 1 = *Completamente a gusto*.

Al puntuar el gusto por cada uno de los protocolos, PEM fue el que obtuvo menor puntaje total, lo que indica mayor preferencia, sumando 50 puntos totales (un promedio de 2.5 puntos sobre 7 por atleta). En cambio, PEC y PEL tuvieron puntajes mayores, a pesar de haber sido seleccionados como el preferido por la misma cantidad de atletas. PEC sumó 59 puntos y PEL 72, con medias de 2.95 y 3.6, respectivamente. La mediana del gusto para PEM y PEC fue 2, mientras que para PEL fue 4. Estos resultados evidencian que PEM es el de mayor preferencia entre los atletas participantes, seguido por PEC y, finalmente, PEL.

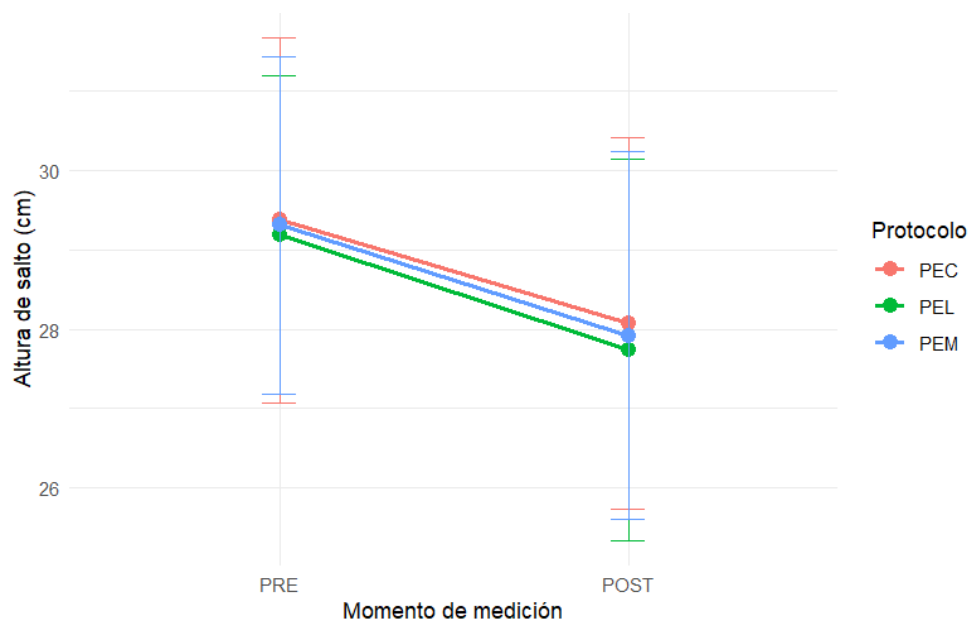
5.2.4 Registros pre y post entrenamiento

Los datos obtenidos de CMJ pre y post entrenamiento indican que, en promedio, los atletas suelen perder entre 1 y 2 cm de altura de salto al culminar un HIIT de resistencia. Estos datos evidenciaron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.001$; $\eta^2_p = 0.024$), lo que respalda la tendencia a la disminución de la capacidad de salto después del entrenamiento.

Al comparar entre protocolos, se encontró que en PEL la pérdida fue de 1.45 ± 1.31 cm; en PEM 1.40 ± 1.89 cm y en PEC 1.30 ± 1.87 cm (*Figura 13*). Sin embargo, esta comparación entre protocolos no mostró diferencias significativas ($p = 0.849$; $\eta^2_p < 0.001$). Además, la interacción entre protocolo y momento del salto tampoco fue significativa ($p = 0.958$; $\eta^2_p < 0.001$), lo que sugiere que el efecto del entrenamiento fue consistente en los tres protocolos. La información desglosada por atleta se encuentra en la *Tabla F1 del Anexo F*.

Figura 13

Comparativa entre altura de saltos CMJ pre y post por protocolo



En el análisis del valor rMSSD de la VFC pre y post entrenamiento, se observó un descenso en todos los protocolos: PEL (29.91 ± 22.27 ms), PEM (26.66 ± 21.20 ms) y PEC (32.96 ± 20.35 ms) (*Figura 14*). Se encontró un efecto estadísticamente significativo en el descenso de los valores pre y post en todos los entrenamientos y

atletas ($p < 0.001$; $\eta^2g = 0.364$). En la *Tabla F2 del Anexo F* se puede encontrar la información de cada sujeto.

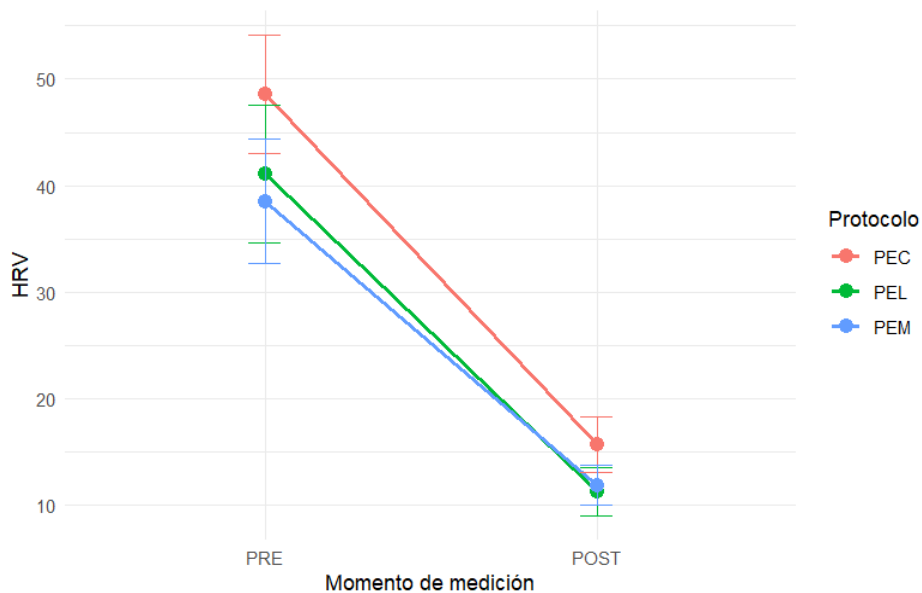
Al comparar entre protocolos, se hallaron diferencias significativas en los valores totales obtenidos ($p = 0.018$; $\eta^2g = 0.024$), lo que sugiere que el rMSSD varió según el protocolo aplicado. PEC presentó los valores más altos, mientras que PEL mostró los más bajos. Valores de η^2g pequeños (menores a 0.06) sugieren efectos limitados en términos prácticos, a pesar de la significación estadística.

En cambio, la interacción entre el protocolo y momento de medición (pre y post) no fue significativa ($p = 0.364$; $\eta^2g = 0.004$), lo que indica que el efecto fue similar en los tres protocolos. Es decir, no se observaron diferencias significativas entre protocolos en la comparación de los valores antes y después del entrenamiento.

En síntesis, el entrenamiento produjo un cambio significativo en rMSSD según el momento de medición (pre y post), y existieron diferencias entre los protocolos independientemente de dicho momento. Sin embargo, la ausencia de una interacción significativa sugiere que todos los protocolos tuvieron un efecto comparable en la disminución de los valores de rMSSD.

Figura 14

Comparativa de rMSSD pre y post por protocolo



6. Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo describir y comparar las respuestas fisiológicas y perceptivas agudas generadas por tres protocolos HIIT, diferenciados por la longitud de los intervalos de trabajo, pero equiparados en volumen total y en la relación trabajo/pausa, en corredores de fondo altamente entrenados. El propósito central fue aportar evidencia empírica que permita comprender los efectos específicos que cada formato de entrenamiento puede inducir en este tipo de atletas, con la intención de ofrecer insumos relevantes para investigadores, entrenadores y deportistas.

El análisis de los protocolos contempló variables fisiológicas, perceptivas y de fatiga post entrenamiento. Entre los principales hallazgos se destacan: (1) el protocolo de intervalos largos (PEL) fue el que registró el VO_2 durante los períodos de esfuerzo, así como el mayor tiempo acumulado por encima del 90% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ (“zona roja”); (2) los tres protocolos permitieron mantener a los atletas por encima del 90% de la FCmáx durante un tiempo considerable (más de 20 minutos en promedio, lo que representa alrededor del 65% del tiempo total de la sesión), destacándose el protocolo de intervalos cortos (PEC) como el que alcanzó los valores más altos en esta variable; (3) no se observaron diferencias significativas en la FC media durante el tiempo de esfuerzo entre los tres protocolos; y (4) PEL generó la mayor RPE y fue el menos preferido por los atletas, PEC fue percibido como el menos demandante, y el protocolo de intervalos medios (PEM) recibió la mayor valoración en términos de preferencia.

La discusión de los resultados se estructurará en tres apartados principales. En primer lugar, se abordarán las respuestas fisiológicas, con foco en el comportamiento del VO_2 y la FC. En segundo lugar, se analizarán las respuestas perceptivas y las preferencias manifestadas por los atletas. Por último, se examinarán las respuestas de fatiga post entrenamiento, a partir de los cambios en el rendimiento neuromuscular evaluado mediante saltos CMJ y de indicadores de VFC. Finalmente, se cerrará la discusión haciendo mención a las limitaciones que presentó el estudio.

Respuestas fisiológicas

En primer lugar, se destaca que PEL generó valores significativamente más altos de VO_2 durante los períodos de esfuerzo, en comparación con PEM y PEC, entre los cuales no se observaron diferencias significativas. Este hallazgo sugiere que los intervalos de mayor duración ofrecen un estímulo más efectivo sobre la potencia aeróbica, uno de los objetivos principales del HIIT en corredores de fondo. Estos resultados coinciden con lo señalado por Seiler y Sjursen (2004), quienes sostienen que los intervalos de 3 a 5 minutos son especialmente eficaces para estimular el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en atletas de resistencia.

Del mismo modo, los hallazgos son consistentes con los reportados por Tucker et al. (2015), quienes encontraron que protocolos de 4 minutos de carrera con 3 minutos de recuperación, ejecutados al 90-95% de la FCmáx , generaron, durante el tiempo de esfuerzo, un VO_2 medio superior al observado en protocolos de 1 minuto de carrera con 1 minuto de recuperación.

El análisis del tiempo acumulado por encima del 90% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($\text{T@VO}_{2\text{máx}}$) también indicó que PEL permitió mantener a los corredores durante más tiempo en la denominada “zona roja”. Este resultado refuerza la efectividad de los intervalos largos para estimular adaptaciones que requieren intensidades cercanas a la potencia aeróbica máxima. Agnol et al. (2021) encontraron resultados similares al comparar pasadas de 4 minutos con 2 de pausa frente a otras variantes. Reportaron que estos intervalos produjeron valores superiores de $\text{T@VO}_{2\text{máx}}$ que intervalos más largos y/o con pausas más breves.

Faelli et al. (2022), en la misma línea, observaron mayores valores de $\text{T@VO}_{2\text{máx}}$ con intervalos de 4 minutos de esfuerzo y 3 minutos de recuperación, respecto a intervalos de 30 segundos de esfuerzo y 30 segundos de recuperación. En nuestro estudio, PEL fue el protocolo que permitió alcanzar el 90% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en menor tiempo, lo cual sugiere una rápida activación (cinética) del sistema aeróbico, probablemente porque la duración del primer intervalo es suficiente para alcanzar o aproximarse a la meseta del VO_2 (Buchheit & Laursen, 2013).

No obstante, a pesar de los patrones generales observados, los datos revelaron una considerable variabilidad interindividual en el $T@VO_2\text{máx}$, similar a lo reportado en la literatura (Agnol et al., 2021; Sánchez-Otero et al., 2022). Algunos atletas no alcanzaron el 90% de su $VO_2\text{máx}$ en los protocolos PEM y PEC, o lo hicieron durante breves período de tiempo. Para ilustrar estas diferencias individuales, en el *Anexo H* se presentan los gráficos de VO_2/kg y FC de cuatro participantes, discriminados por protocolo, lo cual refuerza la importancia de considerar la fisiología individual en la prescripción del entrenamiento.

En cuanto a la FC, durante el tiempo de esfuerzo no se observaron diferencias significativas entre protocolos en el promedio de latidos por minuto (171.1 ± 20.1 en PEL; 169.6 ± 19.0 en PEM y 172.3 ± 13.1 en PEC). Esto indica que, en el HIIT, la FC no refleja con precisión la demanda de VO_2 ni constituye un indicador fiable para la prescripción y el monitoreo de la intensidad del ejercicio.

Sin embargo, al considerar el tiempo por encima del 90% de la $FC\text{máx}$, PEC se destacó como el protocolo con mayor duración en esta zona, pese a haber registrado menor $T@VO_2\text{máx}$. Esta discrepancia podría explicarse por la diferencia en la cinética de ambas variables: mientras la FC responde rápidamente a los cambios de intensidad, el VO_2 tiene una latencia mayor en alcanzar valores máximos (Poole et al., 2008).

En relación con el tiempo necesario para alcanzar el 90% de la $FC\text{máx}$, PEL fue el protocolo que requirió menos tiempo (146.3 ± 269.2 s), seguido de PEM (186.7 ± 424.2 s) y PEC (521.2 ± 770.0 s). Las diferencias fueron significativas entre PEL y PEC (p ajustado = 0.012) y entre PEM y PEC (p ajustado = 0.003), pero no fueron significativas entre PEL y PEM (p ajustado = 1.000). Se destaca que, si bien PEC requiere un tiempo considerablemente mayor para alcanzar el 90% de la $FC\text{máx}$, una vez superado este umbral, los atletas permanecieron en esta zona durante el resto de la sesión.

El diseño de los intervalos de pausa (diferente duración) también impactó, como era esperable, en los valores fisiológicos durante la recuperación: los protocolos con pausas más breves, como PEC, registraron mayores valores medios de VO_2/kg y

FC en esos períodos. Esta diferencia influyó en los promedios globales de las sesiones, en los que PEC presentó los valores más altos de VO_2/kg y FC, seguido por PEM y, por último, PEL.

Un hallazgo llamativo fue que la FC media durante las pausas de PEC fue superior a la registrada durante los esfuerzos. Esta situación podría deberse al incremento de la FC post esfuerzo como mecanismo compensatorio para mantener un GC elevado ante la disminución del VS. Este fenómeno, que se observó de forma más marcada en mujeres, ameritaría ser estudiado con mayor precisión en futuras investigaciones. La cardiografía por impedancia sería una tecnología apropiada para tal fin.

Asimismo, aunque los tres protocolos tuvieron el mismo volumen total (6000 m), PEC fue el que requirió más tiempo para completar la sesión (entre 3 y 5 minutos más). También fue el protocolo que exigió correr a la mayor velocidad y el que mantuvo más tiempo a los atletas por encima del 90% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$.

Estos resultados indican que PEC, si bien no maximiza el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en la misma medida que las otras dos propuestas, permite correr durante más tiempo a altas velocidades y mantener elevados valores de FC. Importa destacar que, el hecho de que PEC implique correr a mayor velocidad y requiera aceleraciones y desaceleraciones en cada repetición (para arrancar y frenar) favorece un mayor reclutamiento de fibras musculares tipo II. Por lo tanto, se puede hipotetizar que este tipo de protocolo podría ser especialmente eficaz para estimular adaptaciones oxidativas en dichas fibras, lo cual resultaría beneficioso para atletas de fondo que buscan mejorar su eficiencia en intensidades altas de carrera.

Finalmente, en cuanto a la FR, no se encontraron diferencias significativas entre protocolos ni en el tiempo total ($p = 0.754$), ni durante el esfuerzo ($p = 0.678$), ni en las pausas (p ajustada = 0.08), lo que indica que esta variable no se vio sustancialmente afectada por la estructura de los protocolos empleados en el estudio.

Percepción subjetiva de esfuerzo

En los tres protocolos estudiados, se observó un incremento progresivo en la RPE a lo largo de la sesión, lo cual resulta esperable ante una carga acumulativa de trabajo de alta intensidad. No obstante, se destaca que PEC fue percibido como el menos exigente en términos generales, registrando valores de la RPE significativamente menores en comparación con PEM y PEL. Estos hallazgos son coherentes con lo reportado en estudios previos, como los de Cipryan et al. (2017) y Warr-di Piero et al. (2018), que también evidenciaron una menor percepción de esfuerzo en sesiones con esfuerzos más breves y fraccionados.

Una tendencia similar se constató al analizar la RPE respiratoria, evaluada al finalizar el entrenamiento, donde nuevamente PEC mostró los valores más bajos. Este resultado sugiere que el mayor componente ventilatorio estuvo asociado a los protocolos con intervalos más largos, que también presentaron mayores valores de VO_2 , particularmente PEL. Este comportamiento respalda la noción de que una mayor exigencia cardiorrespiratoria durante los esfuerzos se traduce en una mayor percepción de fatiga a nivel respiratorio.

Por el contrario, cuando se analizó la RPE localizada en los miembros inferiores, no se encontraron diferencias significativas entre protocolos. Este hallazgo indica que, pese a la mayor velocidad de carrera sostenida en PEC, no se percibió un mayor esfuerzo muscular específico en las piernas. Este dato resulta relevante, ya que sugiere que correr a intensidades cercanas a la $\text{vVO}_{2\text{máx}}$, pero en intervalos muy breves, puede permitir mantener altas velocidades sin generar una sobrecarga perceptiva localizada, lo cual podría ser beneficioso en ciertos momentos de la planificación del entrenamiento.

En conjunto, los resultados de la RPE general, respiratoria y localizada aportan información valiosa sobre la carga percibida en los distintos protocolos, permitiendo comprender mejor cómo responden los atletas no solo desde el punto de vista fisiológico, sino también subjetivo. Estos indicadores perceptivos resultan especialmente útiles para el monitoreo cotidiano del entrenamiento y la toma de decisiones por parte de entrenadores y deportistas.

Preferencias de entrenamiento

En relación con las preferencias manifestadas por los atletas respecto a los protocolos evaluados, se observó que PEL fue el menos elegido de forma notable, seguido por PEC, mientras que PEM resultó ser el de mayor preferencia. Si bien no se identificaron en la bibliografía estudios que utilicen escalas de preferencia para comparar entrenamientos con características similares, la inclusión de esta variable ofrece un aporte valioso para la planificación del entrenamiento, al integrar dimensiones psicológicas y motivacionales junto con los efectos fisiológicos esperados.

Un dato relevante es que los 20 corredores participantes afirmaron realizar con frecuencia entrenamientos de características similares al PEL y al PEM, mientras que ninguno estaba habituado a protocolos con esfuerzos tan breves y repetidos como los de PEC. Aun así, esta propuesta menos convencional mostró una buena aceptación por parte de los atletas, lo que evidencia que no necesariamente la familiaridad con una rutina determina su preferencia posterior. Por el contrario, las pasadas largas, a pesar de ser frecuentes en su planificación habitual, fueron claramente las menos valoradas. Estos resultados están en consonancia con los valores de la RPE general y respiratoria, que también fueron mayores en PEL. Esto sugiere que la menor preferencia por este protocolo puede explicarse, al menos en parte, por la mayor carga perceptiva experimentada por los atletas.

No obstante, cabe señalar, que el orden de aplicación de los protocolos fue preestablecido por los investigadores, con el propósito de garantizar una progresión en el aumento de intensidad de los intervalos de esfuerzo: PEL fue siempre la primera sesión, seguida de PEM y, finalmente, PEC. Si bien la consigna de preferencia se refirió explícitamente a futuros entrenamientos y no al orden en que se realizaron, no puede descartarse que este factor haya influido, especialmente teniendo en cuenta que PEL fue el primer protocolo realizado con espirómetro en pista. Este contexto podría haber potenciado la percepción de dificultad y, en consecuencia, influido negativamente en su valoración por parte de los atletas.

Fatiga posterior a los entrenamientos

En relación con los indicadores de fatiga post entrenamiento, los resultados obtenidos en los saltos CMJ evidenciaron una leve disminución en la capacidad de salto luego de la finalización de los tres protocolos de entrenamiento, en comparación con los valores registrados antes de las sesiones. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los protocolos, lo que coincide con los hallazgos de García-Pinillos et al. (2021), quienes señalan que este marcador de fatiga neuromuscular no resulta sensible ni específico para valorar la carga externa aguda en sesiones de carrera en corredores de resistencia. Cabe destacar que, si bien inicialmente habíamos considerado utilizar el índice de fuerza reactiva (mediante alfombra de contacto, posible de calcular a partir de la relación entre el tiempo de vuelo, o la altura del salto, y el tiempo de contacto) para valorar la fatiga post entrenamiento, finalmente optamos por evaluar únicamente la altura del salto. Esta decisión se basó en la escasa experiencia de los atletas en la ejecución de este tipo de pruebas, lo cual podía comprometer la validez de los registros, en particular del tiempo de contacto. Dado que el índice de fuerza reactiva es un indicador más sensible pero altamente dependiente de una ejecución técnica precisa, se priorizó una variable más simple, robusta y menos influenciada por la técnica, como es la altura alcanzada en el salto.

Respecto a la VFC, los valores del parámetro rMSSD se redujeron inmediatamente después de las sesiones en todos los protocolos, lo que es consistente con lo reportado por Cipryan et al. (2017). Este descenso refleja una inhibición transitoria del sistema nervioso parasimpático producto del esfuerzo, y se interpreta como una respuesta esperable al estrés fisiológico inducido por el entrenamiento de alta intensidad. Si bien estos autores señalaron que los protocolos con intervalos más cortos (30 segundos) tendían a provocar una disminución más marcada del rMSSD que aquellos con esfuerzos de mayor duración (3 minutos), no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre protocolos, un resultado que se replica en la presente investigación.

En conjunto, estos hallazgos indican que, si se pretende valorar la fatiga post entrenamiento, se requiere incorporar otras herramientas y marcadores, reconociendo las limitaciones de cada uno y su utilidad dentro de un enfoque de monitoreo integral.

Limitaciones del estudio

Una de las principales limitaciones del estudio fue la imposibilidad de contar con mediciones de lactato sanguíneo, debido a dificultades logísticas durante la recolección de datos. La incorporación de este parámetro habría permitido complementar y contrastar las respuestas fisiológicas observadas a través del VO_2 y la FC, especialmente en lo relativo a la intensidad metabólica alcanzada en cada protocolo.

Asimismo, la decisión metodológica de no aleatorizar el orden de los protocolos — tomada con el fin de garantizar un incremento progresivo en la intensidad del ejercicio a medida que disminuía la duración de las pasadas— podría haber introducido un sesgo en las valoraciones subjetivas. Este sesgo podría haberse manifestado tanto en la percepción del esfuerzo como en las preferencias de los participantes, especialmente durante la primera sesión con el espirómetro portátil, cuando los atletas tenían muy escasa experiencia con el dispositivo.

Por otra parte, si bien la muestra de 20 atletas, incluyendo 10 mujeres, fue suficiente para los análisis estadísticos realizados, su tamaño restringe la posibilidad de generalizar los resultados a otras poblaciones. Además, el hecho de que la investigación se haya desarrollado en un contexto real con deportistas entrenados, si bien incrementa la validez ecológica de los resultados, también reduce la capacidad de control de variables externas que pueden haber influido en las respuestas fisiológicas y perceptivas registradas.

7. Conclusiones

Los tres protocolos HIIT evaluados demostraron ser estímulos de entrenamiento eficaces para corredores de fondo, generando respuestas fisiológicas y perceptivas relevantes. Sin embargo, cada uno presentó características específicas que orientan su aplicación según los objetivos particulares del entrenamiento que se persigan.

El protocolo largo (5x1200 m, con 3'30" de pausa) fue el que indujo un mayor VO_2 durante el tiempo efectivo de esfuerzo y permitió mantener durante más tiempo valores en la denominada "zona roja" de VO_2 , lo que lo posiciona como una herramienta eficaz para estimular la potencia aeróbica. Sin embargo, fue también el más exigente en términos de percepción subjetiva de esfuerzo (RPE más alto) y el de menor preferencia entre los atletas.

El protocolo medio (15x400 m, con 1'10" de pausa) mostró valores intermedios de VO_2 y FC en todas las fases del entrenamiento, así como en duración total de la sesión y velocidad de desplazamiento. A pesar de no ser el protocolo menos demandante (RPE intermedio), fue el más valorado por los atletas, destacándose como una opción equilibrada entre eficacia fisiológica y aceptación subjetiva.

El protocolo corto (60x100 m, con 18" de pausa) se caracterizó por una mayor duración total de la sesión y por permitir a los atletas correr a velocidades superiores. Fue el que presentó los valores más altos de VO_2 y FC al considerar la sesión completa (esfuerzo + pausa) y acumuló más tiempo por encima del 90% de la $\text{FC}_{\text{máx}}$. Además, fue el que generó menor percepción de esfuerzo (RPE más bajo) y se ubicó en segundo lugar en la escala de preferencia, lo que respalda su implementación como una estrategia válida y potencialmente útil para ser incorporada en el entrenamiento de corredores de fondo.

Finalmente, los tres protocolos provocaron una disminución significativa en la altura del CMJ tras la sesión, así como un descenso en los valores de rMSSD de la VFC, sin diferencias entre ellos. Esto sugiere una respuesta neuromuscular y una modulación parasimpática aguda similares entre protocolos.

Se espera que los hallazgos de este estudio puedan contribuir al diseño de programas de entrenamiento para corredores de fondo que contemplen no solo los efectos fisiológicos, sino también las respuestas subjetivas y las preferencias individuales de los atletas.

8. Futuras líneas de investigación

A partir de los resultados obtenidos, se propone como línea futura de investigación el análisis de respuestas fisiológicas ante sesiones de entrenamiento que combinen pasadas de diferentes longitudes dentro de una misma sesión. Una hipótesis a explorar es que iniciar el entrenamiento con una o dos pasadas largas (de entre 1000 y 2000 metros), seguidas de pasadas más cortas (de entre 100 y 400 metros), podría conducir a valores de VO_2 aún más altos, prolongar el tiempo en “zona roja”, permitir mayores velocidades de carrera y, al mismo tiempo, generar una menor RPE.

Asimismo, se sugiere realizar estudios longitudinales que evalúen las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento generadas por la aplicación sostenida de estos protocolos, ya sea de manera aislada o combinada, en atletas de fondo altamente entrenados. Resulta particularmente relevante evaluar los efectos del protocolo corto (PEC), dada su escasa aplicación habitual en corredores de fondo, a pesar de su buena aceptación y de los efectos observados.

Finalmente, se sugiere incorporar, en estudios futuros, herramientas complementarias de evaluación tales como oximetría muscular mediante espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (NIRS), electromiografía de superficie, o análisis de VFC en condiciones basales y de recuperación, con el objetivo de ofrecer un abordaje más integral del impacto agudo y crónico de los distintos tipos de HIIT en el entrenamiento de resistencia.

Conflicto de intereses

El autor del trabajo declara no tener conflicto de intereses.

Financiaciones

La investigación recibió el apoyo del Programa Iniciación a la Investigación de CSIC en el año, 2023. Además, contó con el apoyo de ANII a través del Programa a Becas de Posgrado Nacionales (Maestría), en la sublínea Investigación Fundamental, 2022.

9. Referencias Bibliográficas

- Abeytua Jiménez, M., Berenguel Senén, A., & Castillo Martín, J. I. (2019). *Comprendiendo la ergometría con gases*. Omnicordis SLP.
- Agnol, C. D., Turnes, T., & De Lucas, R. D. (2021). Time spent near VO₂max during different cycling self-paced interval training protocols. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1347–1353. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0314>
- Bartlett, J. D., Close, G. L., Maclaren, D. P. M., Gregson, W., Drust, B., & Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: Implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 547–553. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.545427>
- Benítez-Flores, S., Castro, F. A. D. S., Lusa Cadore, E., & Astorino, T. A. (2022). Sprint interval training attenuates neuromuscular function and vagal reactivity compared with high-intensity functional training in real-world circumstances. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(5), 1070–1078. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004358>
- Billat, V. L. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Medicine*, 31(1), 13–31. <https://doi.org/doi:10.2165/00007256-200131010-00002>.
- Billat, V. L., Slawinski, J., Bocquet, V., Chassaing, P., Demarle, A., & Koralsztein, J. P. (2001). Very short (15s - 15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain VO₂ max for 14 minutes. *International Journal of Sports Medicine*, 22(3), 201–208. <https://doi.org/10.1055/s-2001-16389>
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377–381.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Chaouachi, M., Chaouachi, A., Chamari, K., Chtara, M., Feki, Y., Amri, M., & Trudeau, F. (2005). Effects of dominant somatotype on aerobic capacity trainability. *British Journal of Sports Medicine*, 39(12), 954–959. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019943>
- Cipryan, L. (2016). Within-session stability of short-term heart rate variability measurement. *Journal of Human Kinetics*, 50(1), 85–92. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0146>
- Cipryan, L., Tschakert, G., & Hofmann, P. (2017). Acute and post-exercise physiological responses to high-intensity interval training in endurance and sprint athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(2), 219–229.
- Coates, A. M., Joyner, M. J., Little, J. P., Jones, A. M., & Gibala, M. J. (2023). A Perspective on High-Intensity Interval Training for Performance and Health.

- Sports Medicine*, 53(s1), 85–96. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01938-6>
- Daniels, J. (2014). *Daniels' Running Formula* (3rd ed.). Human Kinetics.
- Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on VO₂ max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(1), 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.014>
- Etxebarria, N., Anson, J. M., Pyne, D. B., & Ferguson, R. A. (2014). High-intensity cycle interval training improves cycling and running performance in triathletes. *European Journal of Sport Science*, 14(6), 521–529. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.853841>
- Faelli, E., Panasci, M., Ferrando, V., Codella, R., Bisio, A., & Ruggeri, P. (2022). High-intensity interval training for rowing: Acute responses in national-level adolescent males. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13). <https://doi.org/10.3390/ijerph19138132>
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/doi:10.2165/00007256-200939060-00003>
- Fox, E. L., Robinson, S., & Wiegman, D. L. (1969). Metabolic energy sources during continuous and interval running. *Journal of Applied Physiology*, 27(2), 174–178. <https://doi.org/10.1152/jappl.1969.27.2.174>
- García-Pinillos, F., Ramírez-Campillo, R., Boullosa, D., Jiménez-Reyes, P., & Latorre-Román, P. (2021). Vertical jumping as a monitoring tool in endurance runners: A brief review. *Journal of Human Kinetics*, 80(1), 297–308. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0101>
- Haugen, T., Sandbakk, Ø., Seiler, S., & Tønnessen, E. (2022). The training characteristics of world-class distance runners: An integration of scientific literature and results-proven practice. *Sports Medicine - Open*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00438-7>
- Jimenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñafiel, V., Morcillo, J. A., Párraga, J. A., & González-Badillo, J. J. (2016). Mechanical, metabolic and perceptual response during sprint training. *International Journal of Sports Medicine*, 37(10), 807–812. <https://doi.org/10.1055/s-0042-107251>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Jung, M. E., Bourne, J. E., & Little, J. P. (2014). Where does HIT fit? an examination of the affective response to high-intensity intervals in comparison to continuous moderate- And continuous vigorous-intensity exercise in the exercise intensity-affect continuum. *PLoS ONE*, 9(12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114541>
- Kenney, W. L., Wilmore, J., H. & Costill, D. L. (2022). *Physiology of Sport and Exercise* (8 edition). Human Kinetics.
- Kohn, T. A., Essén-Gustavsson, B., & Myburgh, K. H. (2011). Specific muscle adaptations in type II fibers after high-intensity interval training of well-trained runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(6), 765–772. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01136.x>
- Laursen, P & Buchheit, M. (2018). *Science and application of high-interval training*:

- solutions to the programming puzzle.* (Human Kinetics (ed.); 1st ed.).
- López Chicharro, J. & Vicente Campos, D. (2017). *Umbral Láctico. Bases fisiológicas y aplicación al entrenamiento.* (1ra ed.). Editorial Medica Panamericana S.A.
- López Chicharro, J. & Vicente Campos, D. (2018). *HIIT de la teoría a la práctica* (1ra ed.). Exercise Physiology and Training.
- Markov, A., Bussweiler, J., Helm, N., Arntz, F., Steidten, T., Krohm, L., Sacot, A., Baumert, P., Puta, C., & Chaabene, H. (2023). Acute effects of concurrent muscle power and sport-specific endurance exercises on markers of immunological stress response and measures of muscular fitness in highly trained youth male athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 123(5), 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05126-8>
- McArdle, W; Katch, F & Katch, V. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance* (8th ed.). Lippincot Williams and Wilkins.
- Melo, H. M., Martins, T. C., Nascimento, L. M., Hoeller, A. A., Walz, R., & Takase, E. (2018). Ultra-short heart rate variability recording reliability: The effect of controlled paced breathing. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 23(5), 1–9. <https://doi.org/10.1111/anec.12565>
- Midgley, A. W. & Mc Naughton, L. R. (2006). Time at or near VO₂max during continuous and intermittent running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 1–14.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: Can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Medicine*, 37(10), 857–880. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00003>
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine*, 45(10), 1469–1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
- Mora, R., Pallarés, J. G., & Ortega, J. F. (2020). *Fisiología del Deporte y el Ejercicio. Prácticas de campo y laboratorio* (2da ed.). Editorial Medica Panamericana S.A.
- Morcillo, J., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Lozano, E., Ortega-Becerra, M. & Párraga, J. (2015). Relationships between repeated sprint ability, mechanical parameters, and blood metabolites in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1673–1682. [https://doi.org/29\(6\)/1673–1682](https://doi.org/29(6)/1673–1682)
- Muñoz, C. S., Muros, J. J., Belmonte, Ó. L., & Zabala, M. (2020). Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite male young runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph17020674>
- Ortigosa, J., Reigal, R. E., Carranque, G., & Hernández-Mendo, A. (2018). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Investigación y aplicaciones prácticas para el control de los procesos adaptativos en el deporte. *Revista Iberoamericana de Psicología Del Ejercicio y El Deporte*, 13(1), 121–130.

- Pedersen, A & Wale, O. (2017). *Aerobic short or long high intensity interval training – does it matter ?* (Master's thesis). University of Agder, Faculty of Health and Sport Sciences.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
- Poon, E. T. C., Chan, K. W., Wongpipit, W., Sun, F., & Wong, S. H. S. (2023). Acute physiological and perceptual responses to whole-body high-intensity interval training compared with equipment-based interval and continuous training. *Journal of Sports Science and Medicine*, 22(3), 532–540. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.532>
- Rhodes, R. E., & Kates, A. (2015). Can the affective response to exercise predict future motives and physical activity behavior? A systematic review of published evidence. *Annals of Behavioral Medicine*, 49(5), 715–731. <https://doi.org/10.1007/s12160-015-9704-5>
- Rius Sant, J. (2005). *Metodología y técnicas del atletismo*. Editorial Paidotribo.
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Vegge, G., Tønnessen, E., & Slettaløkken, G. (2015). Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(2), 143–151. <https://doi.org/10.1111/sms.12165>
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R. Studio*. PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
- Sánchez-Otero, T., Tuimil, J. L., Boullosa, D., Varela-Sanz, A., & Iglesias-Soler, E. (2022). Active vs passive recovery during an aerobic interval training session in well-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1281–1291. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04926-2>
- Saunders, Philo U.; Pyne, David B.; Telford, Richard D.; & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485.
- Seiler, K. S. (2024). It's about the long game, not epic workouts: Unpacking HIIT for endurance athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 1599(Section 1), 1585–1599. <https://doi.org/10.1139/apnm-2024-0012>
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijspp.5.3.276>
- Seiler, S., & Sjursen, J. E. (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(5), 318–325. <https://doi.org/10.1046/j.1600-0838.2003.00353.x>
- Stöggl, T. L., & Björklund, G. (2017). High intensity interval training leads to greater improvements in acute heart rate recovery and anaerobic power as high

- volume low intensity training. *Frontiers in Physiology*, 8(AUG), 1–8.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00562>
- Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6(OCT), 295.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
- Sylta, K., Tønnessen, E., Sandbakk, K., Hammarström, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Rønnestad, B. R., & Seiler, S. (2017). Effects of high-intensity training on physiological and hormonal adaptations in well-trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(6), 1137–1146.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001214>
- Sylta, Ø., Tønnessen, E., Hammarström, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Ravn, T., Rønnestad, B. R., Sandbakk, Ø., & Seiler, S. (2016). The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2165–2174.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001007>
- Tan, R., Nederveen, J. P., Gillen, J. B., Joannis, S., Parise, G., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2018). Skeletal muscle fiber-type-specific changes in markers of capillary and mitochondrial content after low-volume interval training in overweight women. *Physiological Reports*, 6(5), 1–8.
<https://doi.org/10.14814/phy2.13597>
- Thum, J. S., Parsons, G., Whittle, T., & Astorino, T. A. (2017). High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate intensity continuous exercise. *PLoS ONE*, 12(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166299>
- Tschakert, G., & Hofmann, P. (2013). High-intensity intermittent exercise: Methodological and physiological aspects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 600–610.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.8.6.600>
- Tucker, W. J., Sawyer, B. J., Jarrett, C. L., Bhammar, D. M., & Gaesser, G. (2015). Physiological responses to high-intensity interval exercise differing in interval duration. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(12), 3326–3335.
- Valstad, S., von Heimburg, E., Welde, B., & van den Tillaar, R. (2018). Comparison of long and short high-intensity interval exercise bouts on running performance, physiological and perceptual responses. *Sports Medicine International Open*, 02(01), E20–E27. <https://doi.org/10.1055/s-0043-124429>
- Warr-di Piero, D., Valverde-Esteve, T., Redondo-Castán, J. C., Pablos-Abella, C., & Díaz-Pintado Sánchez Alarcos J. V. (2018). Effects of work-interval duration and sport specificity on blood lactate concentration, heart rate and perceptual responses during high intensity interval training. *PLoS ONE*, 13(7), 1–12.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200690>
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 2(20). <https://www.wma.net/wp-content/uploads/2016/11/DoH-Oct2013-JAMA.pdf>

10. ANEXOS

Anexo A: Comités de Ética

Anexo B: Hoja de Información para participantes y consentimiento Informado

Anexo C: Hopper Index

Anexo D: Mejores marcas de los atletas

Anexo E: Escala de Borg

Anexo F: Mediciones pre y post entrenamiento

Anexo G: Resultados de ANOVA VO_2/kg y FC.

Anexo H: Ejemplos de valores individuales de VO_2/kg y FC.

Anexo A: Comités de ética

Figura A1

Veredicto Comité de Ética ISEF



Instituto Superior
de Educación Física
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



Montevideo
Parque Batlle s/n
24800 102 - 2486 1866

Malvín Norte
Rambla Euskal Erría 4101
25265873

Maldonado CURE
Tacuarembó esq. Av. Aparicio Saravia
4225 5326 (telefax)

Rivera CUR
Ituzaingo 667
462 26313

Paysandú CUP
Florida 1065
4723 8342-int 107

Montevideo, 20 de setiembre de 2022

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN - ISEF Res. N°21/2022

VISTO: la solicitud de Aval efectuada por el Lic. Bruno Escajal al Proyecto de Investigación: **"COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE DISTINTOS PROTOCOLOS DE ENTRENAMIENTO FRACCIONADO EN CORREDORES DE FONDO DE URUGUAY"** bajo la tutoría del Dr. Carlos Magallanes.-----

RESULTANDO: 1.- Que oportunamente, se efectuaron diversas sugerencias al precitado proyecto, a los efectos de su ajuste a la normativa imperante en la materia, en especial Decreto N° 158/019. 2.- Que en función de lo requerido, se presentó una nueva documentación por parte del interesado, adjuntando los documentos que en su versión definitiva, obran en anexo a la presente Resolución.-----

CONSIDERANDO: 1.- Que analizados los diversos documentos que componen el proyecto de investigación, se aprecia que han sido debidamente ajustados a las sugerencias oportunamente formuladas por parte de este Comité. 2.- Que, consecuentemente, se entiende que se ha dado cabal cumplimiento a los extremos requeridos en la normativa imperante en la materia, no existiendo observaciones que formular al respecto.-----

ATENTO: A lo expuesto precedentemente y a lo dispuesto en el Reglamento del Comité de Ética en Investigación de ISEF (Res. N° 6 de C.D.A. de 9/VII/2019 - Dist. 588/19 - D.O. 6/IX/2019).-----

EL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN DEL ISEF RESUELVE:

1.- Otorgar el Aval al Proyecto **"COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE DISTINTOS PROTOCOLOS DE ENTRENAMIENTO FRACCIONADO EN CORREDORES DE FONDO DE URUGUAY"** bajo la tutoría del Dr. Carlos Magallanes a efectos de que pueda llevarse a cabo.-----

2.- Solicitar al investigador remita copia del Protocolo de Bioseguridad utilizado por el Centro Hospitalario Pereyra Rossell, en tanto será el utilizado en Proyecto, para constancia y antecedente de las actuaciones del Comité.-----

3.- Recordar al investigador que finalizado el proyecto deberá hacer entrega de un informe final del mismo.-----

4.- Notificar al interesado.-----



Mag. Sabrina Cervetto



Mag. Isabel Pastorino



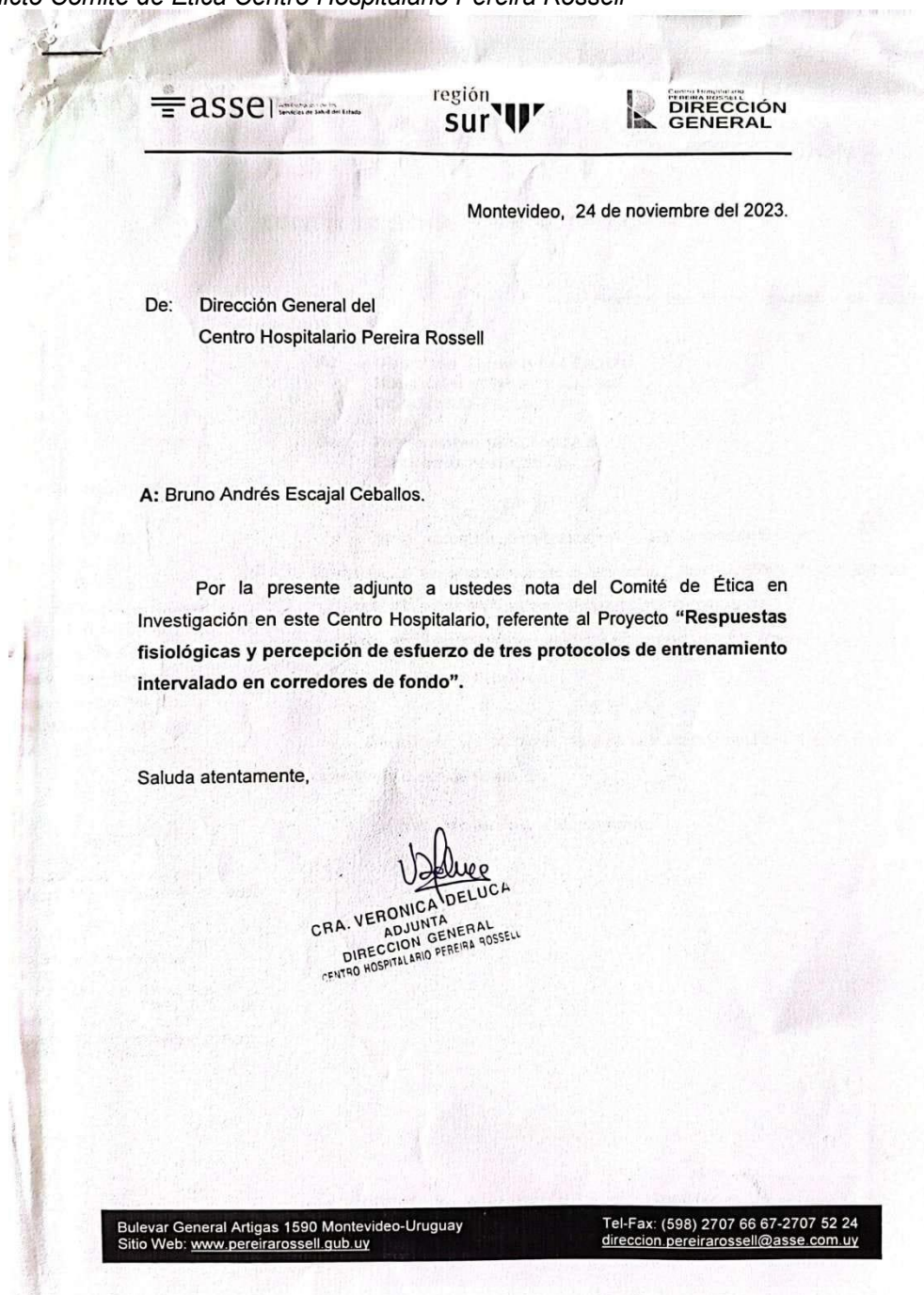
Dra. Nancy Salvá

ANDRÉS
 FABIÁN
 CERRONE
 TOMASELLI

Firmado digitalmente por
 ANDRÉS FABIÁN
 CERRONE
 TOMASELLI
 Fecha: 2022.09.30
 12:36:15 -03'00'

Figura A2

Veredicto Comité de Ética Centro Hospitalario Pereira Rossell



COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

Montevideo, 22 de Noviembre de 2023

INTEGRANTES

Coordinadora:

Prof. Dra. Gabriela Garrido

Dra. Beatriz Ceruti

Dr. Bruno Cuturi

Dra. Mariana Malet.

Dra. Olga Larrosa.

Lic. Enf. Scheley Santos.

Prof. Adj. Dra. Virginia Kanopa

Asist. Clínica. Dra. Clara Olmedo

Prof. Adj. Dra. Josefina Tarigo

Lic. Psic. Ruben Garcia.

Lic. Psic. Lourdes Villafañá.

Quím. Farm. Ismael Olmos.

Prof Adj. Dra. Laura Canesa.

**A: Dirección General del Centro
Hospitalario Pereira Rossell
Dr. Ricardo Ayestarán.**

**De: Integrantes del Comité de
Ética en investigación**

Por la presente se deja constancia que el Comité de Ética en

Investigación considera aprobado el proyecto "**RESPUESTAS FISIOLÓGICAS**

Y PERCEPCIÓN DE ESFUERZO DE TRES PROTOCOLOS DE

ENTRENAMIENTO INTERVALADO EN CORREDORES DE FONDO". Resp.:

Bruno Andrés Escajal Ceballos.

Se solicita incluir como se realizará la asistencia medica del adulto en
caso de alteración de su salud.

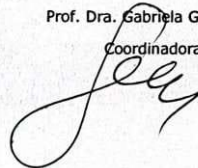
Sin mas, saluda a usted atentamente.

Secretaria
Obst. Part. Julie Nathalie Canobra
comite.etica.investigacion@gmail.com

Recepción de Protocolos
Dirección General del
Centro Hospitalario Pereira Rossell
7º Piso - Tel/Fax: + (598) 2 707 5224
Br. Artigas 1550 C.P. 11600
direccion.pereirarossell@asse.com.uy
Montevideo - Uruguay

Comité de Ética en Investigación
Centro Hospitalario Pereira Rossell
Tel/Fax: +(598) 2707 52 24
e-mail:comite.etica.investigacion@gmail.com

Prof. Dra. Gabriela Garrido
Coordinadora



Anexo B: Hoja de Información para participantes y consentimiento informado

Hoja de información

Título del proyecto

Respuestas fisiológicas y percepción de esfuerzo de tres protocolos de entrenamiento intervalado en corredores de fondo

Investigador responsable

Nombre: Bruno Escajal

Celular: 098709610

Mail: brunoescajal@hotmail.com

Marco de referencia del proyecto

El siguiente estudio constituye la tesis de maestría del investigador responsable (Bruno Escajal), la cual se desarrolla en el marco del Programa de Maestría en Educación Física del Instituto Superior de Educación Física de la Universidad de la República (ISEF-UDELAR).

Propósito de la investigación

El objetivo del presente estudio es analizar y comparar, en atletas de fondo, las respuestas fisiológicas y la percepción de esfuerzo de tres protocolos de entrenamiento intervalado de alta intensidad, que poseen de períodos de esfuerzo de diferente duración (larga, mediana y corta) y están equiparados en el volumen total y en la relación trabajo/pausa (ver abajo Descripción de las actividades experimentales).

Participación libre y voluntaria

La participación es completamente voluntaria y se podrá abandonar el estudio en cualquier momento sin necesidad de proporcionar ninguna justificación. En caso que algún participante desee información complementaria sobre el estudio que no esté incluida en este documento o se le haya explicado oralmente, podrá dirigirse cuando lo desee a cualquiera de los investigadores que están a cargo del proyecto.

Lugar físico donde se llevará a cabo el estudio

La evaluación inicial se realizará en el laboratorio LIEBRE ubicado en el Departamento de Imagenología del Centro Hospitalario Pereira Rossell. El resto de las actividades de

recolección de datos se llevarán a cabo en la pista oficial de atletismo del Prado o de Parque Batlle (Montevideo).

Descripción de las actividades experimentales

La actividad experimental consistirá en 4 sesiones de evaluación; la primera tendrá lugar en el laboratorio LIEBRE y los 3 restantes (en días diferentes) en la pista de atletismo. Cada sesión tendrá una duración aproximada de 90 minutos y se realizarán con doble frecuencia semanal, dejando un mínimo de 48 horas entre la realización de cada una de ellas. La primera sesión consistirá en una evaluación inicial en la que, además de medir el peso y la talla de cada atleta, se efectuará un test de esfuerzo máximo que tendrá una duración aproximada de 20 minutos. El test consiste en correr en un tapiz rodante en el que la velocidad irá aumentando de manera paulatina hasta que se alcance la fatiga (no se consiga mantener la velocidad). Durante el test se monitorizarán permanentemente parámetros cardiovasculares (frecuencia cardíaca, volumen sistólico, gasto cardíaco, presión arterial) y respiratorios (consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono). También se medirán los niveles de oxígeno a nivel muscular (en forma no invasiva, por oximetría). Adicionalmente, se registrará la percepción de esfuerzo utilizando una escala construida para tal fin.

En las otras 3 sesiones siguientes se llevarán a cabo los tres protocolos de entrenamiento intervalado, todos sobre una distancia total de 6.000 m. El protocolo de entrenamiento de intervalos largos consiste en cinco pasadas de 1200 m con 3 min y 30 s de pausa entre ellas, el medio en 15 pasadas de 400 m con 70 s de pausa y el corto en 60 pasadas de 100 m con 18s de pausa. Durante los descansos el atleta deberá mantenerse en reposo de pie o caminando lento (a elección de cada uno). La intensidad será establecida en función de la evaluación inicial, pero en ningún caso superará aquella intensidad que impida completar la totalidad de las pasadas. Como efectuado en la primera sesión (de evaluación) también se medirá el intercambio de gases respiratorios, la frecuencia cardíaca, los niveles de oxígeno muscular y la percepción de esfuerzo. En las pruebas de pista, también se medirá la concentración de lactato sanguíneo. Para esto se extraerá en intervalos regulares una gota de sangre de la yema del dedo o del lóbulo de la oreja. Además, se medirá la variabilidad de frecuencia cardíaca y la altura de un salto con contramovimiento máximo previo y una vez finalizado el ejercicio físico.

Medidas de bioseguridad en el manejo de las muestras de sangre

Las muestras de sangre extraídas de la yema del dedo o lóbulo de la oreja serán manejadas siguiendo el protocolo establecido por el Ministerio de Salud Pública.

Confidencialidad

La información obtenida en este estudio será guardada confidencialmente en un laptop y un disco externo como respaldo, a los cuales sólo tendrán acceso los investigadores responsables y colaboradores del proyecto. Esta información estará a disposición de los sujetos participantes durante cualquier momento del estudio. En las publicaciones o comunicaciones que se vayan a realizar se resguardará el anonimato de los mismos.

Riesgos o efectos colaterales

Las evaluaciones y pruebas físicas que se realizarán estarán acorde a las capacidades físicas de los participantes. Las mismas no implican riesgos para la salud ni la integridad física o psicológica de los atletas, más allá de los riesgos inherentes de la práctica deportiva. Aunque la probabilidad es baja, no se descarta la ocurrencia de alguna lesión músculo-esquelética (contractura o desgarro) o algún episodio cardíaco (presión arterial anormal, ritmo cardíaco muy lento o muy rápido y, raramente, algún accidente cardíaco). A través de la observación y monitorización continua que realizarán los investigadores a cargo del estudio, todo esfuerzo se hará para prevenir y minimizar eventuales complicaciones.

Beneficios que los deportistas obtendrán de este estudio

A cada participante se le entregará un informe con los resultados de la evaluación inicial y de las sesiones de entrenamiento; información que eventualmente podrá ser utilizada para el ajuste de su programa de entrenamiento. Los atletas no recibirán ningún otro beneficio por participar en el estudio.

Atención médica

En caso de ocurrir alguna lesión o complicación de salud, se proporcionará primeros auxilios por parte de personal instruido para ello. Las pistas de atletismo del Prado y Parque Batlle cuentan con servicio de emergencia móvil de Española Móvil y con desfibrilador externo automático.

Firma del participante

Aclaración

Fecha

Firma de un investigador responsable

Aclaración

Fecha

Hoja de consentimiento informado

Declaro haber leído en su totalidad la información contenida en el documento "Hoja de Información" correspondiente al proyecto de investigación titulado: *“Respuestas fisiológicas y percepción de esfuerzo de tres protocolos de entrenamiento intervalado en corredores de fondo”*, bajo la responsabilidad del investigador Bruno Escajal.

He obtenido una copia de dicho documento donde consta la explicación del procedimiento experimental, los riesgos asociados, así como también la información de contacto del investigador responsable. Todas mis preguntas y dudas han sido contestadas en forma completa y satisfactoria. Mi firma, que consta a continuación, indica que voluntariamente he accedido y acepto participar en este estudio.

Firma del participante

Aclaración

Fecha

Firma de un investigador responsable

Aclaración

Fecha

Anexo C Hopper Index

Figura C1

Referencias Hooper Index

¿Cómo es tu estado actual?

Sueño		Stress	
1	Muy, muy bien	1	Muy, muy bajo
2	Muy bien	2	Muy bajo
3	Bien	3	Bajo
4	Medio	4	Medio
5	Malo	5	Alto
6	Muy malo	6	Muy alto
7	Muy, muy malo	7	Muy, muy alto

Fatiga		Dolor muscular local	
1	Muy, muy bajo	1	Muy, muy bajo
2	Muy bajo	2	Muy bajo
3	Bajo	3	Bajo
4	Medio	4	Medio
5	Alto	5	Alto
6	Muy alto	6	Muy alto
7	Muy, muy alto	7	Muy, muy alto

Tabla C1

Resultados Hooper Index

N	PEL	PEM	PEC	DE	N	PEL	PEM	PEC	DE
S1	10	11	12	1.00	S11	12	11	14	1.53
S2	15	16	15	0.58	S12	10	11	14	2.08
S3	13	8	11	2.52	S13	10	10	8	1.15
S4	13	12	14	1.00	S14	8	8	12	2.31
S5	15	18	14	2.08	S15	14	10	11	2.08
S6	12	9	10	1.53	S16	11	12	13	1.00
S7	13	10	9	2.08	S17	13	16	14	1.53
S8	16	13	16	1.73	S18	14	15	16	1.00
S9	18	18	19	0.58	S19	12	13	15	1.53
S10	14	10	13	2.08	S20	18	13	17	2.65

Anexo D: Mejores marcas de los atletas

Tabla D1

Mejores marcas de las atletas previas a la intervención

H	Prueba central	5.000/5km	10.000/10km	Media maratón / Maratón	M	Prueba central	5.000/5km	10.000/10km	Media maratón / Maratón
S1	10 / 21km	15:03	31:51	1:08:13 / 2:28:27	S5	1500m	18:39	37:39	1:30:29
S2	10.000 m	16:10	33:40	1:12:08	S7	21/42km	19:58	40:06	1:39:02
S3	1500/5.000m	14:16	30:40	1:09:31	S9	3000m/obst.	18:43	39:13	1:30: 50
S4	3000m	15:13	31:40	1:11:18	S10	10km	19:44	39:28	-
S6	10.000m	16:12	34:40	1:10:30 / 2:29:27	S11	10km	19:40	41:00	-
S8	5.000m	14:35	30:45	1:06:55 / 2:25:54	S12	10 / 21km	19:38	40:09	1:31:00
S13	10km	16:15	34:12	1:16:30	S15	1500/5.000m	17:32	37:12	1.23:32
S14	3000m/obst.	15:10	32:58	1:12:26	S16	5km	19:12	40:16	1:28:09 / 3:33:21
S17	Maratón	15:50	32:50	1:12:30 / 2:36:50	S19	10km	19:02	39:25	1.23:44 / 3:35:00
S18	21km	16:45	34.42	1:16:18 / 2:44:50	S20	10km	18:30	39:18	1:27:21

Nota. H (Hombres). M (Mujeres)

Anexo E: Escala de Borg

Figura E1

Referencias Escala de Borg Modificada

0	Reposo total
1	Esfuerzo muy suave
2	Suave
3	Esfuerzo moderado
4	Un poco duro
5	Duro
6	
7	Muy duro
8	
9	
10	Esfuerzo máximo

Tabla E1
Resultados Escala de Borg

N	PEL								PEM								PEC							
	1	2	3	4	5	FP	FR	1	2	3	4	5	FP	FR	1	2	3	4	5	FP	FR			
S1	6	7	8	7	8	5	8	7	8	8	9	10	6	9	4	5	5	6	8	8	7			
S2	5	6	7	8	9	7	9	3	4	6	7	9	6	7	2	4	5	6	7	6	6			
S3	7	7	8	9	9	9	7	5	7	7	7	8	7	7	6	7	7	7	7	7	7			
S4	8	7	8	9	10	9	7	6	6	7	8	9	8	9	4	5	5	5	7	6	6			
S5	5	6	6	6	6	5	7	6	6	8	8	8	6	8	5	5	5	5	7	2	2			
S6	7	7	9	9	7	7	9	6	7	7	8	8	8	7	6	6	7	8	8	7	4			
S7	8	8	8	9	9	9	7	8	8	8	9	9	7	8	7	7	8	8	9	7	8			
S8	7	8	8	9	9	8	9	7	7	8	9	9	9	9	5	6	6	7	8	8	8			
S9	4	6	7	8	8	7	8	3	3	4	4	4	5	4	4	5	6	7	7	6	5			
S10	9	9	10	9	9	8	10	9	9	10	10	10	9	10	7	7	8	8	9	8	8			
S11	9	9	10	8	9	3	9	5	6	8	9	10	8	9	7	8	8	9	9	8	8			
S12	6	6	7	8	9	6	9	5	7	8	9	10	6	9	7	7	8	9	9	7	9			
S13	7	9	8	10	7	6	9	4	7	6	8	10	5	7	5	6	7	8	7	4	6			
S14	6	7	8	8	9	8	4	5	5	5	8	8	8	7	6	6	7	7	8	8	7			
S15	6	7	7	8	10	7	9	5	5	6	6	7	4	5	5	6	7	7	9	5	8			
S16	6	7	8	8	9	8	10	5	6	7	8	10	8	8	2	3	4	5	9	5	5			
S17	5	7	8	9	10	8	9	7	7	8	9	10	9	7	7	7	7	8	9	8	7			
S18	9	9	9	9	9	9	10	8	9	10	10	10	7	10	7	8	8	8	8	7	8			
S19	7	7	6	6	8	5	7	7	8	8	8	10	7	8	7	7	8	7	9	6	8			
S20	8	8	8	9	9	9	8	7	8	8	8	9	8	9	5	6	6	7	7	7	8			

Nota FP: Final Piernas. FR: Final Respiratorio

Anexo F: Mediciones pre y post entrenamiento

Tabla F1
Resultados CMJ

PEL				PEM			PEC		
N	PRE	POST	DIF	PRE	POST	DIF	PRE	POST	DIF
S1	33.40	31.60	-1.8	35.57	34.07	-0.87	35.74	32.22	-3.52
S2	33.20	29.90	-3.3	30.59	27.69	-2.9	28.33	30.10	1.77
S3	31.10	29.90	-1.2	31.49	28.85	-2.64	30.60	33.03	2.43
S4	33.70	34.22	0.52	32.08	30.54	-1.54	34.23	32.57	-1.66
S5	25.71	21.30	-4.41	26.20	20.45	-5.75	19.90	17.60	-2.3
S6	28.18	26.32	-1.86	30.00	29.17	-0.83	30.15	27.91	-2.24
S7	28.40	27.15	-1.25	28.81	29.69	0.88	30.61	29.55	-1.06
S9	30.25	29.57	-0.68	31.84	30.51	-1.33	33.69	30.49	-3.2
S10	35.40	36.00	0.6	35.23	35.39	0.16	35.50	35.00	-0.5
S11	28.15	25.10	-3.05	29.00	26.04	-2.96	29.10	25.70	-3.4
S12	31.60	31.30	-0.3	30.90	29.14	-1.76	33.40	28.50	-4.9
S13	25.80	24.50	-1.3	26.65	26.54	-0.11	29.60	28.30	-1.3
S14	33.94	33.77	-0.17	34.15	30.81	-3.34	30.20	31.30	1.1
S15	26.00	25.00	-1	26.44	24.09	-2.35	24.90	24.47	-0.43
S16	24.85	23.68	-1.17	26.58	24.56	-2.02	25.37	24.24	-1.13
S17	30.62	29.68	-0.94	30.86	33.72	2.86	32.07	31.57	-0.5
S18	30.20	30.40	0.2	-	-	-	29.73	31.70	1.97
S19	20.87	18.37	-2.5	21.87	21.39	-0.48	22.16	21.00	-1.16
S20	24.28	21.97	-2.31	19.36	19.23	-0.13	23.18	21.85	-1.33
Media ± DE		-1.36 ± 1.33		-1.40 ± 1.89			-1.12 ± 1.96		

Tabla F2
Resultados rMSSD

PEL				PEM			PEC		
N	PRE	POST	DIF	PRE	POST	DIF	PRE	POST	DIF
ff									
S1	44.08	11.27	32.82	65.69	10.15	55.54	53.89	16.27	37.62
S2	28.57	8.00	20.57	22.72	11.35	11.37	46.12	10.68	35.44
S3	62.15	9.55	52.60	64.27	25.84	38.43	54.65	47.24	7.41
S4	30.92	7.27	23.65	32.30	6.15	26.15	64.61	33.24	31.37
S5	29.38	4.40	24.98	30.01	15.53	14.48	73.54	12.01	61.53
S6	32.32	4.40	27.92	23.64	10.13	13.51	19.53	8.05	11.48
S7	105.89	38.44	67.45	52.27	31.46	20.81	95.25	33.62	61.63
S8	7.01	4.36	2.64	9.57	5.45	4.12	19.45	9.57	9.88
S9	18.74	5.75	12.99	21.12	2.33	18.80	32.58	7.79	24.79
S10	44.13	7.80	36.33	35.09	6.27	28.82	32.69	8.39	24.31
S11	49.20	31.49	17.72	47.15	12.28	34.86	66.68	28.19	38.49
S12	44.65	9.81	34.84	27.92	7.22	20.70	36.65	6.51	30.14
S13	10.76	8.34	2.41	17.77	7.98	9.79	14.79	10.09	4.70
S14	27.74	6.00	21.74	43.88	6.99	36.89	34.53	6.56	27.97
S15	12.12	3.15	8.97	33.66	11.74	21.92	20.07	8.97	11.10
S16	28.61	7.55	21.06	25.69	8.39	17.30	30.61	10.12	20.50
S17	31.81	15.45	16.36	24.09	15.14	8.95	49.00	8.41	40.60
S18	63.16	4.88	58.28	27.81	3.82	23.99	83.96	11.01	72.95
S19	29.36	7.24	22.12	34.24	8.21	26.03	47.34	7.87	39.47
S20	120.62	29.85	90.76	131.14	30.45	100.70	96.10	28.26	67.84
Media ± DE			-29.81 ± 20.27	-26.66 ± 21.20			-32.96 ± 20.35		

Anexo G: Resultados de ANOVA de VO₂/kg y FC.

Figura G1

Resultados de ANOVA de VO₂/kg

Efecto	Sum Sq	num gl	Error SS	den gl	F value	p
(Intercept)	193939	1	1423.130	17	2316.698	<.001
Protocolo	588.000	2	291.240	34	34.345	<.001
Fase	4383.000	1	151.800	17	490.796	<.001
Protocolo: Fase	2706.000	2	106.660	34	431.371	<.001

Figura G2

Resultados de ANOVA de FC

Efecto	Sum Sq	num Df	Error SS	den Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	2598961	1	6775.0	15	5754.129	< .001
Protocolo	5009	2	962.1	30	78.099	< .001
Fase	5575	1	315.9	15	264.708	< .001
Protocolo: Fase	5013	2	492.3	30	152.757	< .001

Anexo H: Ejemplos de valores individuales de VO_2/kg y FC.

Figura H1

A) VO_2/kg y B) FC - S2 por protocolo. *Atleta Masculino*

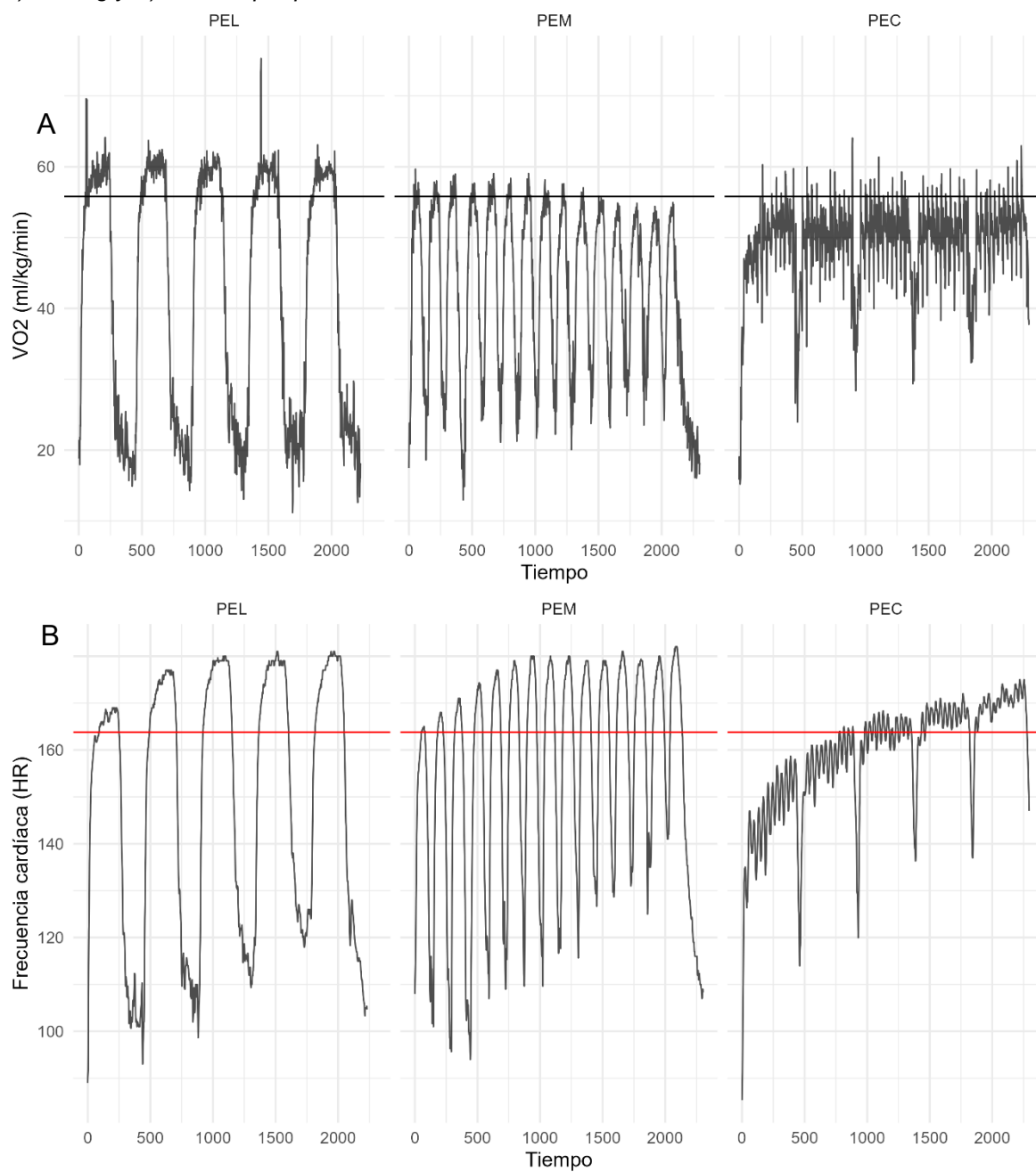


Figura H2

A) VO_2/kg y B) FC – S10 por protocolo. *Atleta Femenina*

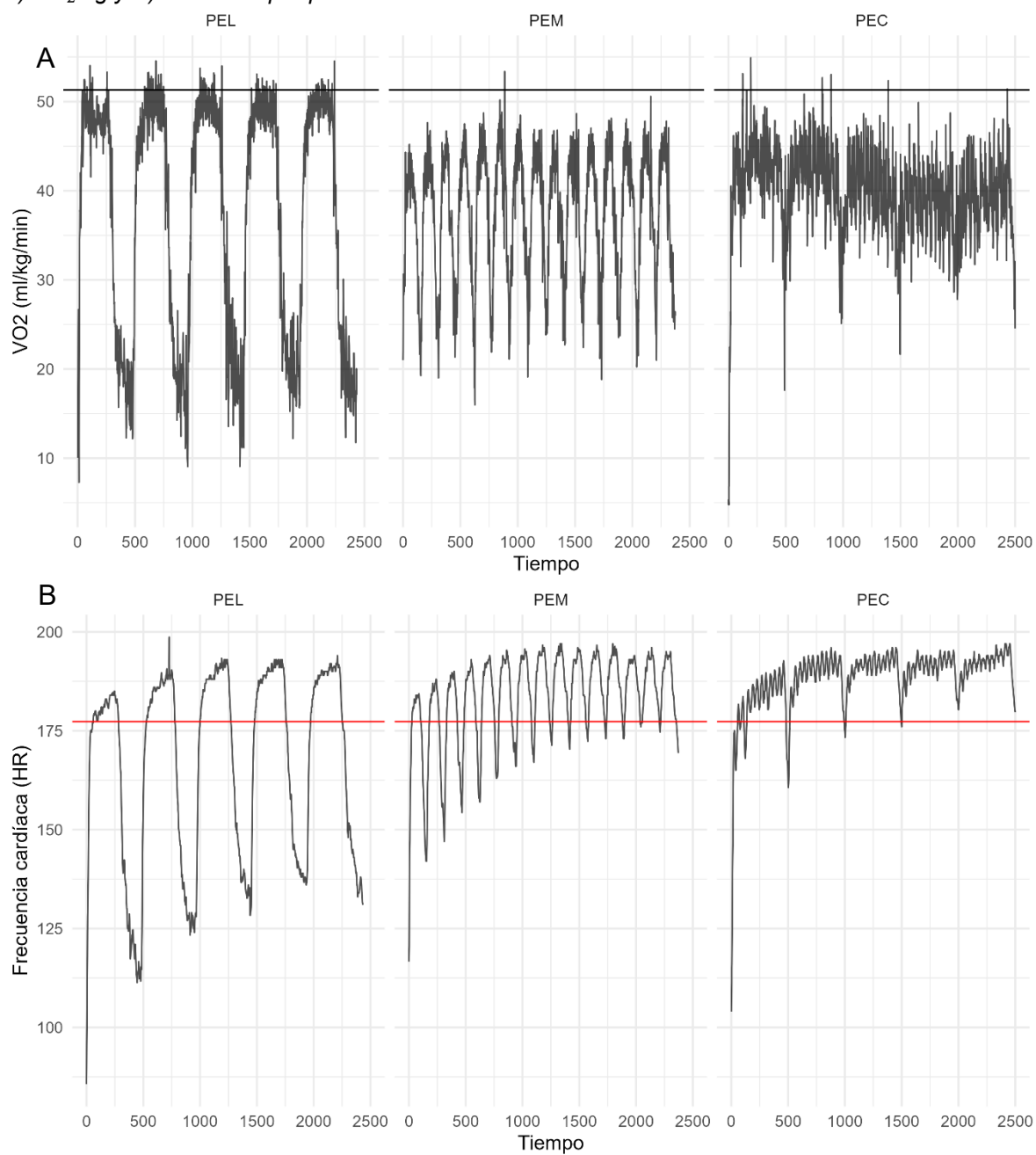


Figura H3

A) VO_2/kg y B) FC – S16 por protocolo. *Atleta Femenina*

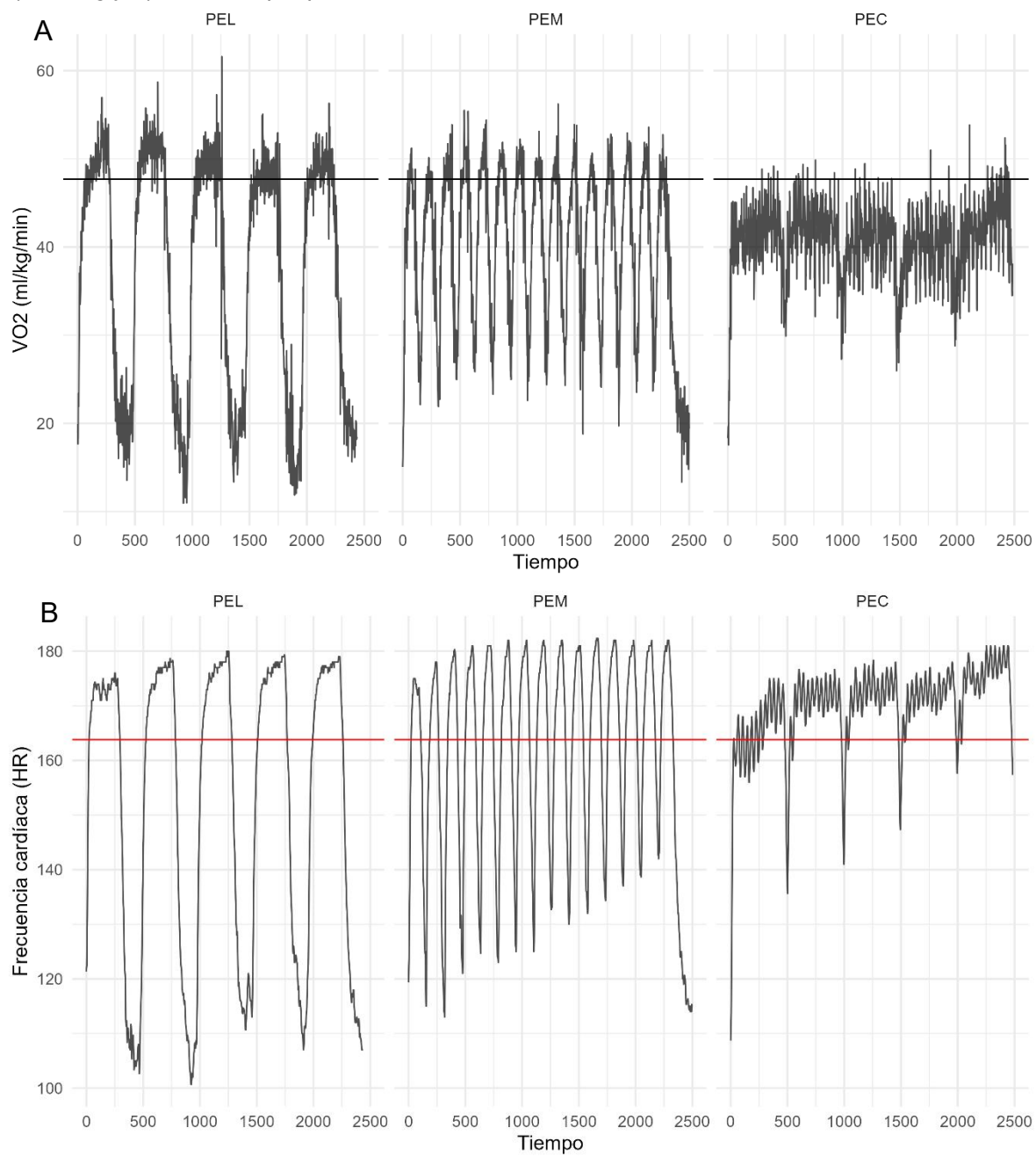


Figura H4

A) VO_2/kg y B) FC – S16 por protocolo. *Atleta Femenina*

