

Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas:  
Comparación entre Protocolos

Estudio de Investigación presentado al  
Departamento de Estudios Graduados  
Facultad de Educación  
Universidad de Puerto Rico  
Recinto de Río Piedras  
como requisito parcial para obtener  
el grado de Maestro en Ciencias del Ejercicio

Por:

Jesús Fernando Aponte Rodríguez

© Derechos reservados, 2024

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias del  
Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio

Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas:  
Comparación entre Protocolos

**Jesús Fernando Aponte Rodríguez**

(Maestría en Ciencias del Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio,  
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, 2024)

(Bachillerato en Artes de Educación concentración en Recreación, Universidad de Puerto  
Rico, Recinto de Río Piedras, 2019)

Aprobada el 29 de abril de 2024 por el Comité de Tesis:

---

Farah A. Ramírez Marrero, PhD, MSc, CSCS\*D, FACSM

Directora de Tesis

---

Rafael De Jesús, Ph. D.

Miembro del Comité

---

Lucía del R. Martínez, Ph. D.

Miembro del comité

## **Dedicatoria**

A Modesto Carrión Quintana, por impactar mi juventud y mi vida de manera positiva desde el deporte. Por impulsarme a alcanzar una mejor versión de mi cada día y darme las herramientas para perseverar en este arduo camino de la vida. La humildad y la bondad son cualidades que te caracterizan como ser humano y estaré eternamente agradecido con el universo por regalarme un modelo a seguir. Gracias Modesto, por nunca dejar de ser mi entrenador en la vida y guiarme aún en la distancia.

A Farah A. Ramírez Marrero, por fomentar y desarrollar en mi vida habilidades y conocimientos para alcanzar gran parte de mis metas académicas. Quiero expresar mi agradecimiento por toda la paciencia y dedicación, por toda la mentoría académica y personal en este recorrido universitario. Gracias Farah, por tu influencia y liderazgo en estos largos años como estudiante. Por siempre mi mentora y ahora mi colega como Fisiólogos del Ejercicio.

A ustedes, les dedico este logro significativo en mi vida y en mi carrera como profesional. Gracias otra vez por colocar su cajón de arena en mi vida, porque el granito de arena se queda muy corto en comparación de lo que aportaron con el pasar del tiempo.

## **Reconocimiento**

Reconocemos a los 22 atletas semi-fondistas que participaron voluntariamente de este estudio y al comité de tesis, gracias a su ayuda y disposición fue posible llevar a cabo esta investigación. Gracias al compromiso y dedicación de los participantes por permitir completar la muestra y también a sus entrenadores que se involucraron en este proceso.

Damos un especial reconocimiento al entrenador de fondo y medio fondo de la Universidad Interamericana de Puerto Rico Leandro Ghelfi por demostrar un interés peculiar en el estudio, involucrarse en el proceso y brindar la cantidad de nueve atletas al estudio lo cual nos puso en órbita con el proceso de recolección de datos y nos acercó mucho a la meta. Les deseamos éxito en esta y las próximas temporadas competitivas.

Agradecemos enormemente al Sistema de Bibliotecas de la UPRRP por su gran disposición con los Préstamos Interbibliotecarios, tenemos que añadir que gracias a ellos el proceso de revisión de literatura fue uno llevadero y que no hubo artículo, revista o texto que no hicieran entrega de la manera más diligente posible. Reconocemos su arduo trabajo y gran aportación a este estudio.

Finalmente, queremos reconocer a todas las personas que de alguna manera u otra se involucraron con esta investigación, a todos los estudiantes y amigos que asistieron y apoyaron durante las pruebas de esfuerzo máximo.

## **Resumen de la Tesis**

Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas:

Comparación entre Protocolos

Jesús Fernando Aponte Rodríguez

Directora de tesis: Farah A. Ramírez Marrero, PhD, CSCS\*D

En este estudio con diseño transversal descriptivo se realizó una comparación de respuestas fisiológicas entre dos protocolos de prueba de esfuerzo máximo (protocolo Bruce y un protocolo de rampa de nueva creación) en 22 atletas semi-fondistas. No se encontró diferencia significativa en el Consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) y el porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio entre protocolos ( $p = 0.95$  y  $p = 0.53$  respectivamente). El protocolo de rampa de nueva creación es una alternativa viable para evaluar el  $VO_{2max}$  en atletas semi-fondistas.

## Tabla de contenido

Resumen de la Tesis .....	v
Tabla de contenido .....	vi-viii
Lista de Tablas .....	ix
Lista de Figuras .....	x
Capítulo I: Introducción .....	1
Consumo máximo de oxígeno (VO <sub>2</sub> max) .....	2
Umbral ventilatorio .....	4
Protocolos para la evaluación del VO <sub>2</sub> max .....	5
Problema de investigación .....	8
Propósito .....	9
Pregunta de investigación, hipótesis alternativa y nula .....	9
Relevancia del estudio .....	10
Limitaciones .....	10
Delimitaciones .....	11
Justificación .....	11
Definiciones operacionales .....	11
Capítulo II: Revisión de Literatura .....	13
Aptitud Cardiorrespiratoria y VO <sub>2</sub> max .....	13
Estimación o medida directa del VO <sub>2</sub> max .....	18
Protocolos para medir el VO <sub>2</sub> max en corredores .....	20
Resumen .....	25

Capítulo III: Método .....	27
Participantes .....	27
Procedimiento .....	28
Primera visita .....	29
Medidas de Reposo:	
Medidas antropométricas .....	29
Presión arterial y frecuencia cardiaca .....	30
Frecuencia cardiaca en ejercicio .....	30
Procedimiento del participante .....	30
Familiarización con los protocolos y pruebas .....	31
Prueba de VO <sub>2</sub> max .....	31
Segunda visita .....	37
Umbral Ventilatorio y porcentaje de VO <sub>2</sub> max en el umbral ventilatorio .....	37
Variables .....	38
Análisis de Datos .....	39
Capítulo IV: Resultados .....	41
Participantes .....	41
Capítulo V: Discusión .....	54
Condiciones Ambientales en el Laboratorio y Variables Fisiológicas en Reposo ...	54
Consumo Máximo de Oxígeno (VO <sub>2</sub> max) y Frecuencia Cardiaca Máxima .....	55
Umbral Ventilatorio: Consumo de Oxígeno (VO <sub>2</sub> ), Frecuencia Cardiaca y Porcentaje (%) del Consumo Máximo de Oxígeno .....	58
Resumen y conclusión .....	59

Fortalezas, Limitaciones, Relevancia y Recomendaciones para Futuros Estudios...	60
Referencias .....	62
Anejos	
Anejo A – Autorización del protocolo del estudio por el Comité Institucional para la Protección de Seres Humanos en la Investigación (CIPSHI) de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras .....	72
Anejo B – Hoja de promoción del estudio .....	73
Anejo C – Consentimiento informado .....	74
Anejo D – Cuestionario de Información General .....	78
Anejo E – Cuestionario de cernimiento Pre-participación .....	79
Resumen Biográfico del Autor .....	80

## Lista de Tablas

Tabla	Página
Tabla 1: Características Descriptivas de Participantes en el estudio.....	43
Tabla 2: Características ambientales en el laboratorio durante los dos protocolos bajo estudio.....	44
Tabla 3: Respuestas fisiológicas entre hombres y mujeres divididos por protocolo de prueba .....	48
Tabla 4: Correlaciones de las variables independientes del estudio. ....	49

## Lista de Figuras

Figura	Página
Figura 1: Escala de Percepción de Esfuerzo de Borg (Borg, 1982) .....	35
Figura 2: Protocolo Bruce .....	36
Figura 3: Protocolo de rampa de nueva creación .....	36
Figura 4: $VO_2\text{max}$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) y porcentaje del $VO_2\text{max}$ en el umbral ventilatorio comparando el protocolo Bruce y el protocolo de Rampa de nueva creación en atletas semi-fondistas.....	45
Figura 5: Análisis de concordancia en la frecuencia cardiaca máxima entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa.....	51
Figura 6: Análisis de concordancia en el $VO_2\text{max}$ entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa.....	52
Figura 7: Análisis de concordancia en el porcentaje del $VO_2\text{max}$ en el umbral ventilatorio entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa.....	53

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La aptitud cardiorrespiratoria es un componente de la aptitud física que se define como la capacidad de suministrar oxígeno a los músculos y utilizarlo para proveer energía a todos los sistemas orgánicos, en particular al sistema músculo esquelético durante la actividad física y ejercicio (Lang et al., 2018; Escalante, 2011). Este componente de la aptitud física está directamente relacionado con menor morbilidad y mortalidad por todas las causas (Alvero-Cruz et al., 2019). Investigaciones y estudios longitudinales han identificado una correlación significativa entre una baja aptitud cardiorrespiratoria en la etapa de la adolescencia y un aumento en el riesgo de enfermedades cardiovasculares en la adultez (Lang et al., 2018). Aunque la aptitud cardiorrespiratoria está altamente determinada por factores genéticos, la actividad física, el ejercicio y entrenamiento aeróbico también tienen un efecto en este componente que se considera un parámetro importante de la aptitud física (ACSM Guidelines, 2021; Alvero-Cruz, et al., 2019; Herdy & Uhlendorf, 2011).

En el ámbito deportivo, el rendimiento en eventos aeróbicos depende de cuan eficientemente el sistema cardiovascular y pulmonar transporta el oxígeno hacia el sistema músculo esquelético para extraer la mayor cantidad de oxígeno y utilizarlo en la producción, utilización y recuperación de energía (Gibson, Wagner & Heyward, 2019; Kenney, Wilmore & Costill, 2021). Esto significa que la aptitud cardiorrespiratoria también es un componente esencial en el rendimiento deportivo, como por ejemplo las carreras de media distancia (semi-fondo) y larga distancia (fondo) en el atletismo. Estas carreras son parte fundamental en el deporte del atletismo, en donde entre los eventos de

semi-fondo se encuentran los 800 metros lisos, 1500 metros lisos, 3,000 metros lisos y los 3,000 metros con obstáculos; y entre los eventos de fondo se encuentran los 5,000 metros lisos, 10,000 metros lisos, 10 kilómetros carretera, 21 kilómetros carretera o media maratón y los 42 kilómetros carretera o maratón.

Este trabajo de investigación se concentra en los atletas semi-fondistas, quienes durante su entrenamiento necesitan trabajar tanto la capacidad aeróbica como la anaeróbica, incluyendo entrenamiento contra resistencia. Esto significa que requieren el desarrollo y evaluación de todos los componentes de la aptitud física involucrados en su especialidad dentro del deporte del atletismo: las carreras de semi-fondo (Rius, 2017). Dentro de todos los componentes de la aptitud física, este trabajo se concentra en la aptitud cardiorrespiratoria y las pruebas para medir el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\max$ ) que es un indicador de la aptitud cardiorrespiratoria (Lima, et al., 2020).

En este capítulo se presenta un breve preámbulo sobre la importancia de comparar el  $VO_2\max$  y otras respuestas cardiovasculares y metabólicas utilizando diferentes protocolos de evaluación en corredores semi-fondistas. También se presenta la pregunta de estudio, su justificación, las hipótesis de estudio y las definiciones operacionales.

### **Consumo máximo de oxígeno ( $VO_2\max$ )**

El  $VO_2\max$  es la medida directa de mayor validez para determinar la aptitud cardiorrespiratoria y fortalecer la prescripción del ejercicio con un valor preciso sobre un aspecto fundamental en el acondicionamiento físico de una persona (Gibson, Wagner & Heyward, 2019; Pires, Lima-Silva & Oliveira, 2005). Su evaluación se puede realizar de manera directa o indirecta. Las pruebas directas se caracterizan por la utilización de analizadores de gas, que recolectan el aire exhalado y determinan la cantidad de oxígeno

consumido y, en muchos casos, también el bióxido de carbono producido, además de otros parámetros en tiempo real. Una medida directa del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ofrece la más alta confiabilidad y se considera la medida de comparación o el “gold standard” para determinar la aptitud cardiorrespiratoria. Las pruebas indirectas proveen estimaciones basadas en relaciones lineales con los resultados en pruebas directas, por lo tanto, existe un margen de error que puede ser considerable, aunque son factibles debido al bajo costo en comparación con las pruebas directas (Lima et al., 2020; Bazán & Colacilli, 2014).

La evaluación directa del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  se realiza en laboratorios utilizando ergómetros que simulan la actividad física o el movimiento en el deporte correspondiente. La ergometría, que significa medir trabajo, define la medida y cuantificación de la aptitud física (Steinach & Gunga, 2021) con máquinas estacionarias para realizar una actividad física específica, por ejemplo, el cicloergómetro para el deporte del ciclismo, ergómetro de remo para el deporte de remo, y la banda sin fin para corredores (ACSM, Guidelines, 2021). De esta manera se determina y utiliza el ergómetro que mejor simule la actividad física o deporte que practique la persona, con el fin de optimizar los resultados de su prueba. Por un lado, el cicloergómetro, además de ser ideal para evaluar atletas en el deporte de ciclismo, tiene una buena adaptabilidad a la población general; por otro lado, la banda sin fin o “trotadora” es ventajosa y de mayor precisión porque caminar o correr son actividades que conllevan movimientos fisiológicos naturales y dinámicos (Buchheit et al., 2011; Inostroza, 2016). Existe una variedad de protocolos con variaciones en las cargas de trabajo para progresivamente aumentar hasta lograr que cada persona alcance el esfuerzo máximo durante la prueba.

El  $\text{VO}_2\text{max}$  se puede expresar en términos absolutos como litros por minuto (L/min), o en términos relativos al peso como mililitros por kilogramo de peso por minuto ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Durante una prueba de  $\text{VO}_2\text{max}$  se establecen criterios para identificar la obtención del máximo esfuerzo. Estos son: a) la frecuencia cardiaca (FC) debe alcanzar el máximo estimado, b) el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) debe nivelarse, con una diferencia no mayor de  $2.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  durante los últimos dos minutos de la prueba, c) la razón de intercambio respiratorio (RIR) debe alcanzar al menos un valor 1.10, d) los niveles de lactato en sangre deben exceder 8 mmol inmediatamente que se termina la prueba y e) la percepción de esfuerzo debe ser mayor de 17 en la escala de Borg del 6-20 (Mauger & Sculthorpe, 2012; Sperlich et al., 2015; Borg, 1982). Si una prueba de  $\text{VO}_2\text{max}$  no cumple con al menos tres de estos criterios, se considera un  $\text{VO}_2\text{pico}$ , que representa el valor mayor de oxígeno consumido que se ha medido durante la prueba (Gibson, Wagner & Heyward, 2019).

### **Umbral ventilatorio**

El umbral ventilatorio representa el punto donde la ventilación comienza a incrementar desproporcionalmente con relación al incremento en el consumo de oxígeno dado la necesidad de remover el bióxido de carbono lo más rápido posible (Kenney, Wilmore & Costill, 2021). Esto ocurre en el punto de transición de metabolismo aeróbico a metabolismo anaeróbico, coincidiendo con el umbral anaeróbico. El umbral ventilatorio es otro criterio para evaluar la capacidad de ejecutar una actividad física a una alta intensidad sin comprometer el metabolismo aeróbico. La determinación del umbral ventilatorio es bastante consistente, aunque en ocasiones puede ser difícil de identificar, especialmente en personas con muy bajo rendimiento físico (Zych et. al, 2017). Según

Tanaka y Swensen (1998), durante una prueba máxima, es posible que el umbral ventilatorio ocurra en dos zonas: primer y segundo umbral ventilatorio (VT1 y VT2). El VT1 se puede presentar en una carga entre 50-60% del  $\text{VO}_2\text{max}$  y el VT2 se puede presentar en una carga entre 70-90% del  $\text{VO}_2\text{max}$ , y se pueden expresar mediante valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  relativo a peso (Zych et al., 2017). Se ha sugerido que el VT1 es más útil para evaluar el rendimiento físico en pacientes cardiacos o con enfermedades pulmonares y músculo-esqueléticas; y el VT2 se utiliza a menudo como una medida de la capacidad de rendimiento físico en atletas en deportes competitivos, particularmente en disciplinas de eventos de fondo (Pallares et al., 2016). Por otro lado, Billat y colegas (1996) sugieren que la velocidad total que se alcanza en una prueba de carga progresiva para determinar el  $\text{VO}_2\text{max}$ , sin ajustar por el porcentaje de inclinación, es un posible indicador de rendimiento deportivo en atletas de semi-fondo. El porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio y la velocidad al momento de alcanzar el  $\text{VO}_2\text{max}$  son dos aspectos que no se han evaluado lo suficiente cuando se utilizan diferentes protocolos para la evaluación del  $\text{VO}_2\text{max}$ , particularmente en atletas de semi-fondo.

### **Protocolos para la evaluación del $\text{VO}_2\text{max}$**

Las pruebas de esfuerzo se llevan a cabo utilizando protocolos que permiten cuantificar y controlar incrementos progresivos en la carga de trabajo hasta que se logre el objetivo de alcanzar un esfuerzo máximo o submáximo y se pueda evaluar la aptitud cardiorrespiratoria en respuesta al ejercicio (Villegas et al., 2013). Los protocolos para medir o estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$  pueden ser intermitentes o continuos. Las pruebas utilizando protocolos intermitentes se realizan con breves descansos entre incrementos en carga y con protocolos continuos no hay descanso entre incrementos. En ambos casos la duración

entre cada incremento y la duración total de la prueba puede variar. Se ha recomendado que el tiempo máximo para alcanzar el  $\text{VO}_2\text{max}$  en hombres debe ser entre 8-12 minutos y en mujeres debe ser entre 8-10 minutos, con incrementos en intensidad progresivos y moderados (Lima et al., 2020; Myers et al., 1991). Es posible que las variaciones en los cambios en intensidad entre protocolos puedan afectar la medida de  $\text{VO}_2\text{max}$  (Gonzalez-Alonso & Calbet, 2003).

Los protocolos con grandes incrementos en la carga de trabajo típicamente tienen poca duración ya que las personas tienden a querer terminar la prueba posiblemente antes de alcanzar su  $\text{VO}_2\text{max}$ , lo que se asocia a una insuficiencia en la fuerza muscular para adaptarse a grandes aumentos de carga durante las últimas etapas de la prueba (Kang et al., 2001). Por otra parte, los protocolos que tienden a durar mucho tiempo (ej., 20 minutos aproximadamente) pueden provocar valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  más bajos, posiblemente por aumentos en la temperatura central, redistribución del volumen minuto o un menor flujo de sangre a los grupos musculares involucrados en la contracción durante la prueba (Sloniger et al., 1997). Además, los protocolos que tienden a durar mucho tiempo son más agotadores y requieren mayor motivación del participante, particularmente en las etapas finales (Buchfuhrer, 1983; Czuba & Zajac, 2010).

Cuando se introdujeron las pruebas de  $\text{VO}_2\text{max}$  en el área clínica, se dieron a conocer protocolos estandarizados de científicos conocidos como Bruce, Balke, Astrand, entre otros (Myers, 1991). El de Bruce, por ejemplo, se desarrolló en el 1973 como un protocolo estandarizado en banda sin fin que se puede adaptar para diversas poblaciones ya sea mediante una prueba máxima o submáxima tomando en consideración la aptitud física de los participantes (ACSM, Guidelines, 2021; Storm, 2018). Las comparaciones

entre protocolos en banda sin fin sugieren que no existe diferencias significativas en las respuestas fisiológicas cuando se evalúan atletas. Sin embargo, Froelicher y colegas (1974) observaron diferencia significativa en el  $VO_2\text{max}$  cuando compararon el protocolo estandarizado de Bruce con el protocolo estandarizado de Balke, los que varían en la duración de las etapas para el incremento en la carga de trabajo. Las etapas con el protocolo Bruce duran tres minutos, mientras con el protocolo Balke duran 1 minuto. Además del protocolo, el tipo de ergómetro también afecta el valor del  $VO_2\text{max}$ . El uso del cicloergómetro, por ejemplo, resulta en valores de  $VO_2\text{max}$  entre 10-20% menor en comparación con la banda sin fin, que se asocia con un menor uso de masa muscular cuando se utiliza el primero en comparación con el segundo (Myers, 1991; Froelicher, et al., 1974; Pollock, et al., 1976). El presente estudio se concentra en protocolos en banda sin fin por ser más apropiados para la evaluación de  $VO_2\text{max}$  en corredores.

Además de los protocolos estandarizados en banda sin fin, los protocolos de rampa son populares debido al aumento lineal y continuo en la carga de trabajo que, posiblemente evita alteraciones neuromusculares o cambios metabólicos repentinos. Incrementos erróneos o repentinos en la carga de trabajo pueden afectar la duración de una prueba máxima en atletas (Czuba & Zajac, 2010). Según Kindermann y colegas (1980) una duración de tres minutos por cada carga de trabajo en un protocolo estandarizado es suficiente para poder evaluar el umbral anaeróbico. Zoladz y colegas (1995) añaden que las etapas de tres minutos en estos protocolos proveen el tiempo suficiente para observar cambios en el  $VO_2$  en relación con el incremento de trabajo. El protocolo Bruce, en su versión regular y modificada, es muy utilizado en el área clínica,

sin embargo, se entiende que puede subestimar los valores de  $VO_{2max}$  en personas entrenadas (Dabney & Butler, 2007).

Aunque se podría asumir que el  $VO_{2max}$  y el porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio deben ser similares sin importar el protocolo que se utilice, la literatura revisada no presenta evidencia sustancial que compare estos dos parámetros entre protocolos. Un inconveniente que presentan protocolos estandarizados con incrementos no lineales de velocidad o inclinación en una banda sin fin es que pueden subestimar el  $VO_{2max}$  ya que pueden inducir una fatiga temprana en las extremidades inferiores debido a la forma en que ocurren los incrementos de cargas (Lang et al., 2018). Por ejemplo, protocolo estandarizado de Bruce se caracteriza por ser de múltiples etapas en una banda sin fin donde se incrementa la carga de trabajo aumentando la velocidad y la inclinación cada tres minutos hasta finalizar la prueba (Gibson, A. & Wagner, D. & Heyward, V. 2019). Un protocolo de rampa con aumento lineal y continuo en la carga de trabajo podría provocar resultados diferentes en atletas semi-fondistas entrenados. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue comparar el protocolo estandarizado de Bruce con un protocolo de rampa de nueva creación para atletas de semi-fondo en Puerto Rico.

### **Problema de investigación**

La selección de protocolos para evaluar el  $VO_{2max}$  y otras respuestas fisiológicas que se han asociado con el rendimiento deportivo puede afectar la interpretación de los resultados y el diseño de planes específicos de entrenamiento para optimizar el rendimiento deportivo en atletas semi-fondistas. Por lo tanto, es importante realizar comparaciones entre protocolos para identificar posibles diferencias en las respuestas fisiológicas.

## **Propósito**

El propósito de este estudio es evaluar y comparar respuestas fisiológicas como por ejemplo, el  $VO_2\text{max}$ , el porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio y el tiempo total hasta el máximo voluntario, utilizando dos protocolos: uno estandarizado y otro de rampa de nueva creación.

## **Pregunta de investigación, hipótesis alterna y nula**

1. ¿Existe diferencia en el  $VO_2\text{max}$  cuando se utiliza el protocolo Bruce versus un protocolo de rampa de nueva creación?

**H<sub>a1</sub>**: El  $VO_2\text{max}$  será mayor en el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce

**H<sub>o1</sub>**: No habrá diferencia en el  $VO_2\text{max}$  con un protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce

2. ¿Existe diferencia en el porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio cuando se utiliza el protocolo Bruce en comparación a un protocolo de rampa de nueva creación?

**H<sub>a2</sub>**: El porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio será mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce

**H<sub>o2</sub>**: No habrá diferencia en el porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio con un protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce

3. ¿Existe diferencia en el tiempo total hasta máximo voluntario en la prueba de esfuerzo máximo cuando se utiliza el protocolo Bruce en comparación con un protocolo de rampa de nueva creación?

**H<sub>a3</sub>**: El tiempo total hasta máximo voluntario de la prueba de esfuerzo máximo será mayor en el protocolo Bruce en comparación con el protocolo de rampa de nueva creación

**H<sub>o3</sub>**: No habrá diferencia en el tiempo total hasta máximo voluntario en la prueba de esfuerzo máximo en el protocolo Bruce en comparación con un protocolo de rampa de nueva creación

### **Relevancia del estudio**

Es importante para todo entrenador conocer el nivel de aptitud cardiorrespiratoria de sus atletas, ya que permite una mejor planificación del entrenamiento y, por lo tanto, una mayor oportunidad de éxito. Los atletas semi-fondistas participan en diferentes eventos durante su ciclo de competición y su preparación es individualizada, por lo que tanto entrenadores como atletas como especialistas en la fisiología del ejercicio que llevan a cabo evaluaciones, deben estar informados de los protocolos para evaluar la aptitud cardiorrespiratoria, tomar decisiones y asegurar la mejor precisión posible en la medición.

Este estudio es el primero en evaluar dos protocolos para la medición de VO<sub>2</sub>max en semi-fondistas en Puerto Rico, uno estandarizado y otro de rampa de nueva creación adaptado a las características en el rendimiento de corredores semi-fondistas en donde no hay inclinación durante la ejecución del evento. Este estudio ayudará a educar sobre la importancia de la especificidad del protocolo seleccionado para una prueba de VO<sub>2</sub>max.

### **Limitaciones**

En este estudio no se incluye evaluación sobre la cantidad y calidad de sueño, ingesta de líquido y alimentos, intensidad del entrenamiento días previos a las pruebas y

la fase actual en la preparación deportiva en todos los participantes. Estos son aspectos que podrían afectar la medida de  $VO_2\text{max}$ .

### **Delimitaciones**

Este estudio se delimita a hombres y mujeres entre 18 a 32 años que participan activamente en el deporte de pista y campo en eventos de semi-fondo por al menos dos años.

### **Justificación**

En la literatura revisada no se ha encontrado información que compare las respuestas fisiológicas de atletas semi-fondistas puertorriqueños cuando se utilizan diferentes protocolos para la evaluación del  $VO_2\text{max}$ . Obtener información relevante al momento de elegir un protocolo es necesario para asegurar que éste sea adecuado para el tipo de evento en que entrenan y compiten los participantes. Con la información obtenida en este estudio se podrá recomendar un protocolo de prueba de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario especializado para atletas semi-fondistas.

### **Definiciones operacionales**

1.  $VO_2\text{max}$  – consumo de oxígeno máximo es el producto de gasto cardiaco y diferencia artero-venosa de oxígeno y se define como la capacidad del sistema cardiovascular para transportar y utilizar oxígeno para la producción de energía (Hill & Lupton, 1923; Bassett & Howley, 1999)
2. Prueba máxima de  $VO_2\text{max}$  - prueba de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario diseñada para aumentar la intensidad del ejercicio por etapas, lo que permite que un participante alcance su capacidad máxima para el ejercicio aeróbico. Ésta se puede realizar en una banda sin fin, en bicicleta u otras

modalidades de ejercicio. En este estudio, las pruebas máximas se realizarán en una banda sin fin (Gibson, A. & Wagner, D. & Heyward, V. 2019).

3. Umbral ventilatorio –intensidad durante el ejercicio donde la ventilación comienza a incrementar desproporcionalmente en relación al incremento en el consumo de oxígeno, y se explica por el aumento en la producción de bióxido de carbono (Kenney, Wilmore & Costill, 2021).
4. Protocolo Bruce – prueba de laboratorio multi-etapas en la banda sin fin para determinar el  $VO_2max$ , se caracteriza por ser un protocolo estandarizado donde la carga de trabajo aumenta tanto la velocidad como la inclinación en cada etapa (Gibson, A. & Wagner, D. & Heyward, V. 2019).
5. Protocolo de rampa de nueva creación – prueba de laboratorio multi-etapas en la banda sin fin para determinar el  $VO_2max$ , que se caracteriza por ser escalonado donde la carga de trabajo aumenta principalmente en la velocidad. El protocolo de rampa de nueva creación para este estudio tiene etapas de dos minutos cada una donde los primeros 10 minutos de prueba se aumenta la velocidad de la banda sin fin y luego se comienza a aumentar la inclinación en las etapas restantes hasta que el participante llegue a su esfuerzo máximo voluntario.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

Este estudio se llevó a cabo con el propósito de comparar las respuestas fisiológicas durante una prueba de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario utilizando un protocolo estandarizado y uno de rampa de nueva creación. En este capítulo se presenta un trasfondo informativo sobre las respuestas fisiológicas durante una prueba de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario, como lo es el  $VO_2\text{max}$ , el porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio y los protocolos que se utilizan para evaluarlas. Además, se presenta información detallada de estudios en los que se han comparado protocolos en donde se ha evaluado el  $VO_2\text{max}$ , particularmente entre corredores.

#### **Aptitud Cardiorrespiratoria y $VO_2\text{max}$**

La aptitud cardiorrespiratoria se ha definido como la capacidad del corazón, vasos sanguíneos y pulmones para movilizar y transportar sangre oxigenada hacia todos los sistemas orgánicos, en particular el sistema músculo esquelético, y la capacidad de éste para extraer y utilizar el oxígeno y satisfacer la demanda de energía. Este componente de la aptitud física típicamente se evalúa determinando el  $VO_2\text{max}$ , que es la cantidad máxima de oxígeno que se consume y utiliza durante el ejercicio (Kenney, Wilmore & Costill, 2021).

En los inicios de la fisiología del ejercicio, Hill y Lupton (1923) determinaron que el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) aumenta lineal y directamente con el incremento de intensidad en el ejercicio y descubrieron que tiene un valor máximo individual identificando que se estabiliza cuando alcanza el valor más alto formando una meseta.

Este estudio abrió las puertas para examinar diferentes fases del  $VO_2$  en reposo y la aptitud cardiorrespiratoria en ejercicio con seres vivos (Kenney, Wilmore, Costill, 2021).

Según Brooks y colegas (2005), el  $VO_2$  depende de varios factores como, por ejemplo, la ventilación, el transporte de oxígeno y la utilización del oxígeno. La eficiencia con la que ocurre cada factor representa la capacidad fisiológica de cada persona. La ventilación es el proceso de movilizar aire desde el medioambiente externo hacia los pulmones. El transporte de oxígeno depende del proceso de difusión que ocurre desde los alvéolos pulmonares a la sangre, y la unión de oxígeno y hemoglobina para llegar por las arterias hasta los capilares que rodean el músculo. Por último, la utilización de oxígeno es la capacidad que tiene el músculo de tomar el oxígeno que va transportado en la hemoglobina y utilizarlo para producir energía por las vías metabólicas aeróbicas (Kenney, Wilmore, Costill, 2021; Brooks, Fahey, Baldwin, 2005).

El  $VO_2$  se puede explicar con la ecuación de Fick:  $VO_2 = Q \times A-VO_2 \text{ diff}$  (Padilla, Castillo & Castillo, 2011), siendo el producto del volumen minuto (Q) y la diferencia arterio-venosa de oxígeno. El volumen minuto (Q) es la cantidad de sangre bombeada por el corazón por unidad de tiempo y se expresa en litros por minuto. Por lo tanto, el volumen minuto representa el producto de la frecuencia cardíaca y el volumen de sangre que bombea el corazón con cada latido, también conocido como volumen sistólico ( $Q = FC \times VS$ ). La diferencia arterio-venosa de oxígeno ( $\text{dif a-v } O_2$ ) representa la diferencia en el contenido de oxígeno entre la circulación arterial y la venosa. Conociendo la cantidad de sangre que llega al músculo y cuánto oxígeno se extrae de esa cantidad, se puede determinar el  $VO_2$ . La capacidad máxima del sistema cardiovascular y pulmonar de suplir oxígeno a través de la sangre y del músculo esquelético extraer y utilizar el oxígeno o

VO<sub>2</sub>max, se ha convertido en uno de los máximos indicadores de aptitud cardiorrespiratoria y salud cardiovascular y pulmonar (Bassett & Howley, 1999).

En un estudio con la población general en Puerto Rico, Rivera (1986) evaluó 386 adultos con edad entre 20 a 69 años para determinar la respuesta máxima cardiorrespiratoria y desarrollar normativas específicas a la edad y sexo para la clasificación del VO<sub>2</sub>max. Los participantes se consideraron como saludables y ninguno tomaba medicamentos. Para la prueba de esfuerzo máximo se utilizó el protocolo Bruce con la finalidad de evaluar el VO<sub>2</sub>max y otros parámetros fisiológicos. Los criterios para establecer la obtención del VO<sub>2</sub>max fueron: una frecuencia cardiaca máxima con 10 latidos por minuto sobre o debajo de la frecuencia cardiaca máxima estimada con la edad ( $220 - \text{edad}$ ), la razón de intercambio respiratorio mayor a 1.0 y una estabilización del VO<sub>2</sub> que no sobrepase un cambio de  $2.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  con aumento en la carga de trabajo. Las mujeres tuvieron menor estatura y peso, con un mayor porcentaje de grasa en comparación con los hombres; mientras que los hombres tuvieron mayor VO<sub>2</sub>max y ventilación pulmonar máxima en comparación con las mujeres. Los hombres en las edades de 20-29 años promediaron  $49.22 \pm 9.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y las mujeres  $37.66 \pm 6.2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . En las edades de 30-39 años los hombres promediaron  $43.16 \pm 3.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y las mujeres  $33.52 \pm 5.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . En las edades de 40-49 años los hombres promediaron  $39.71 \pm 6.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y las mujeres  $32.11 \pm 1.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Los hombres entre las edades de 50-59 años y las mujeres mayores de 50 años promediaron  $34.50 \pm 2.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y  $29.37 \pm 4.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  respectivamente. Hombres con 60 años o mayores promediaron  $31.12 \pm 4.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

El  $\text{VO}_2\text{max}$  también se ha utilizado como uno de los principales parámetros asociados al rendimiento deportivo. Como resultado, es típico reportar el  $\text{VO}_2\text{max}$  entre atletas. Por ejemplo, Saltin y Astrand (1967) examinaron 133 atletas elites (95 hombres y 38 mujeres) de nivel nacional en Suiza y reportaron que los 15 valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  más altos fueron en hombres con un promedio de 5.75 L/min, mientras que los 10 valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  más altos en las mujeres promediaron 3.6 L/min. En el estudio no se reportaron valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  relativos al peso. Además, los autores observaron una relación directa entre el  $\text{VO}_2\text{max}$  y el rendimiento deportivo.

En Puerto Rico, Rivera y colegas (1992) realizaron un estudio para describir el perfil antropométrico y fisiológico de atletas puertorriqueños de nivel nacional e internacional en diferentes disciplinas deportivas. En las distancias de 1,500 metros hasta 42 kilómetros se evaluaron seis participantes, tres hombres y tres mujeres, con una edad promedio de 27 y 26 años, respectivamente. Para determinar la función cardiorrespiratoria y metabólica se utilizó un carro metabólico AMETEK que utiliza espirometría de circuito abierto y la recolección de aire exhalado utilizando una válvula respiratoria de dos vías. El carro metabólico permitió obtener los siguientes parámetros fisiológicos cada 15 segundos: a) ventilación pulmonar, b) frecuencia ventilatoria, c) producción de bióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ), consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) y razón de intercambio respiratorio (RIR). Los criterios para determinar que la prueba fue máxima ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) fueron los mismos que se describen anteriormente (Rivera, 1986). Además, se determinaron los niveles de lactato en sangre antes de comenzar el protocolo de esfuerzo máximo y a los cinco minutos después de finalizar. Para la prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario se utilizó el protocolo Astrand en una banda sin fin (Gibson, Wagner

& Heyward, 2019). Los hombres comenzaron calentando por 10 minutos a 4.6 mph y 2.5% de inclinación. Inmediatamente terminado el calentamiento, la velocidad aumentó a 9.3 mph y 5% de inclinación, con etapas de tres minutos de duración y aumentos de 3% de inclinación mientras que la velocidad se quedaba constante. Dos de las mujeres se evaluaron con protocolo Astrand (Gibson, Wagner & Heyward, 2019), iniciando con un calentamiento de 10 minutos a 3.9 mph y 2.5% de inclinación; inmediatamente seguido por un aumento en la velocidad a 7.8 mph y la inclinación a un 5%. La velocidad se mantuvo constante y la inclinación aumento 3% en cada etapa de tres minutos hasta llegar al máximo voluntario. La tercera fémina completó la prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario con el protocolo Bruce en banda sin fin (Doan et al., 1965). La percepción de esfuerzo se obtuvo en los últimos 10 segundos de cada minuto de la prueba de esfuerzo utilizando la escala de Borg de 6-20 (Borg, 1982). La frecuencia cardiaca en reposo fue 52.7 lpm para las mujeres y 47.0 lpm para los hombres. En la frecuencia cardiaca máxima reportada durante la prueba de esfuerzo en las mujeres fue de 181.3 lpm y en los varones 187.7 lpm. El  $VO_2\text{max}$  promedio en los hombres fue  $80.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  en comparación con las mujeres que promediaron  $63.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Los autores concluyeron que los datos antropométricos y parámetros fisiológicos en los seis atletas puertorriqueños de nivel nacional e internacional fueron similares a otros datos reportados en la literatura con poblaciones similares (Rivera, Lopategui & Rivera Brown, 1992).

La evaluación del  $VO_2\text{max}$  o la aptitud cardiorrespiratoria tiene ciertas limitaciones en la identificación de talentos, particularmente cuando atletas de alto nivel competitivo tienen valores similares. En estos casos, es posible que otras características

cardiorrespiratorias se añadan para identificar quién tiene la mejor oportunidad de éxito. Una de estas características es el porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio, una medida de la eficiencia cardiorrespiratoria en alta intensidad de ejercicio.

### **Estimación o medida directa del $\text{VO}_2\text{max}$**

El  $\text{VO}_2\text{max}$  se puede medir con una prueba de esfuerzo máximo o se puede estimar con una prueba de esfuerzo sub-máxima en un laboratorio utilizando un sistema metabólico para la evaluación del  $\text{VO}_2$  y  $\text{VCO}_2$  durante el ejercicio, y utilizando ergómetros para medir la carga de trabajo durante el ejercicio. El  $\text{VO}_2\text{max}$  en corredores también se puede estimar con pruebas de campo ya sea evaluando distancia recorrida o el tiempo en que se completa una distancia. Luego, se utilizan ecuaciones de predicción que han demostrado ser válidas y confiables en comparación con las pruebas directas en laboratorio (Gibson, Wagner & Heyward, 2019). Existe una gran variedad de pruebas de campo para estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$  en diferentes poblaciones. Sin embargo, esta revisión de literatura enfatiza en los protocolos sub-máximos y máximos para evaluar el  $\text{VO}_2\text{max}$  en el laboratorio.

Las pruebas sub-máximas culminan antes de que se alcance el máximo voluntario, usualmente cuando se alcanza entre 80-85% de la frecuencia cardíaca máxima estimada. En condiciones de laboratorio es posible medir respuestas fisiológicas como el  $\text{VO}_2$ , la ventilación y la frecuencia cardíaca durante una prueba sub-máxima, entre otras respuestas que permiten luego extrapolar para estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$ . Estas pruebas se utilizan con regularidad en la población clínica ya que son de menor riesgo en comparación con las pruebas máximas (Gibson, Wagner & Heyward, 2019; ACSM, Guidelines, 2021); sin embargo, las pruebas sub-máximas también se han utilizado en

atletas. Por ejemplo, Vallejo y Pedutti (1992) evaluaron a 31 atletas masculinos distribuidos en seis diferentes grupos, a su vez agrupados por evento deportivo y condición física, para estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$  mediante pruebas sub-máximas antes y después de la etapa competitiva. La prueba sub-máxima se llevó a cabo en un cicloergómetro electromagnético, utilizando el nomograma de Asstrand y Ryhming (1954) para estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$ . El  $\text{VO}_2\text{max}$  promedio estimado de todos los grupos antes de la etapa competitiva fue  $52.98 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  y después de la etapa competitiva fue  $54.78 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Ninguno de los grupos mejoró su  $\text{VO}_2\text{max}$  significativamente al culminar la etapa competitiva.

En otro estudio, Alajmi y colegas (2020) compararon el  $\text{VO}_2\text{max}$  estimado con dos pruebas sub-máximas y el  $\text{VO}_2\text{max}$  medido directamente con una prueba máxima en 20 adultos (8 hombres y 12 mujeres) que se autclasificaron con actividad física baja o moderada utilizando el cuestionario “Physical Activity Readiness Questionnaire” (PAR-Q). Para la prueba máxima con medida directa se utilizó el protocolo Balke modificado en la banda sin fin (ACSM, Guidelines, 2021). La velocidad inicial fue 3.0 mph y 0% la inclinación, aumentando 2.5% cada dos minutos hasta el máximo voluntario. En una de las pruebas sub-máximas se utilizó el protocolo Balke modificado, sin la recolección de gases y utilizando la prueba de hablar (“Talk Test”) en los últimos 30 segundos de cada etapa de dos minutos para determinar la intensidad del esfuerzo y estimar el  $\text{VO}_2\text{max}$  con ecuaciones metabólicas (ACSM, Guidelines, 2021). La prueba de hablar consistió en instruir a los participantes a leer en voz alta un párrafo de 101 palabras e identificar si podían hablar cómodamente. El  $\text{VO}_2\text{max}$  promedio estimado con las dos pruebas sub-máximas fue  $42.6 \pm 7.4$  y  $40.0 \pm 7.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente; mientras que el

VO<sub>2</sub>max medido directamente fue  $38.1 \pm 6.52 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . La diferencia entre la prueba máxima y las pruebas sub-máximas no fue significativa, por lo que los autores concluyeron que las pruebas sub-máximas se pueden utilizar para estimar el VO<sub>2</sub>max con poco margen de error. Además, mencionan que la prueba “Talk-test” es una medida indirecta viable para predecir el umbral ventilatorio.

En otro estudio, Inostroza (2016) utilizó el protocolo estandarizado de Bruce para medir el VO<sub>2</sub>max en 62 estudiantes de 18 a 25 años. Como se ha descrito anteriormente, el protocolo estandarizado de Bruce comenzó con una inclinación de 10% y una velocidad de 1.7 mph en su primera etapa y cada tres minutos aumentó 2% la inclinación y 0.8 mph la velocidad hasta el máximo voluntario. En el estudio, 66% de los participantes indicaron que finalizaron la prueba por fatiga en la extremidad inferior y el resto por fatiga a nivel central. Además, se observó que 34% de los participantes no alcanzaron la frecuencia cardiaca máxima estimada al finalizar el protocolo (Gibson, Wagner & Heyward, 2019).

### **Protocolos para medir el VO<sub>2</sub>max en corredores**

En todo protocolo para medir el VO<sub>2</sub>max en un laboratorio se aumenta progresivamente la carga de trabajo alentando a cada participante para que alcance su máximo esfuerzo. En un ambiente controlado de laboratorio, se pueden obtener resultados que sean comparables con los de otros laboratorios. Además, se pueden evaluar otras respuestas fisiológicas mientras va aumentando la intensidad del ejercicio hasta alcanzar el máximo. Entre estas respuestas fisiológicas se encuentra la frecuencia cardiaca, umbral ventilatorio, percepción de esfuerzo, la razón de intercambio respiratorio y niveles de lactato en sangre. Estas variables ayudan a establecer la

transición de un metabolismo aeróbico a uno anaeróbico, sugiriendo la aproximación a un esfuerzo máximo (Gibson, Wagner & Heyward, 2019).

Las pruebas máximas, igual que las sub-máximas, se pueden llevar a cabo utilizando diferentes tipos de ergómetro. Además de la banda sin fin, el cicloergómetro y el ergómetro de remo son ergómetros de uso común. En la evaluación del  $VO_{2max}$  es preferible seleccionar el ergómetro que más se asemeje al tipo de ejercicio o el tipo de deporte que lleva a cabo el participante. Esta revisión de literatura se enfoca en la banda sin fin ya que es el tipo de ergómetro ideal para evaluar corredores y existen múltiples protocolos para determinar el  $VO_{2max}$  mediante ejercicio progresivo hasta el máximo voluntario en este tipo de ergómetro.

Los protocolos de carga constante implican que la carga de trabajo no cambia hasta que el participante llegue a su máximo voluntario. Mientras, los protocolos de carga progresiva implican que habrá aumentos en la intensidad del ejercicio de manera escalonada hasta que el participante alcance el máximo voluntario (Dabney & Butler, 2007).

Sperlich y colegas (2015) compararon el  $VO_{2max}$  utilizando cinco protocolos en 14 corredores varones de larga distancia bien entrenados. Los protocolos se completaron con una semana de descanso entre cada uno y fueron administrados aproximadamente a la misma hora del día. El primer protocolo de carga progresiva fue de rampa donde se comenzó a 5.4 mph y sin inclinación por dos minutos y luego, cada 30 segundos, aumentó la velocidad por 0.9 mph y 0.5% de inclinación hasta alcanzar 9.0 mph. El segundo protocolo fue con velocidad constante de 9.0 mph y aumentando la inclinación 2% cada dos minutos. El tercer protocolo fue sin inclinación y aumentando la velocidad

0.3 mph cada 30 segundos hasta alcanzar 7.5 mph. El cuarto protocolo fue uno intermitente de carga progresiva con inclinación constante de 1% y un incremento de velocidad 0.8 mph cada cinco minutos hasta 5.4 mph y 30 segundos de recuperación pasiva entre etapas. El quinto protocolo fue determinado por cada participante, quienes modificaron la velocidad e inclinación de la banda sin fin para llegar al máximo voluntario en un lapso de 8 a 12 minutos. El  $\text{VO}_2\text{max}$  promedio con cada protocolo fue  $62.2 \pm 5.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $63.1 \pm 3.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $61.8 \pm 4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $59.5 \pm 4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $61.5 \pm 4.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , respectivamente. Estos valores no fueron significativamente diferentes entre sí, por lo que se concluyó que los protocolos estandarizados para medir el  $\text{VO}_2\text{max}$  en corredores ofrecen resultados similares a los protocolos individualizados donde los corredores pueden escoger los cambios en carga hasta alcanzar el máximo voluntario. En el estudio no se documentaron otras respuestas fisiológicas con los diferentes protocolos.

Lima y colegas (2020) compararon las respuestas fisiológicas de 27 estudiantes (17 hombres y 10 mujeres) utilizando dos protocolos de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario en banda sin fin: uno escalonado y otro de rampa. El estudio consistió en tres visitas. En la primera visita se determinaron las variables antropométricas y de reposo como peso, estatura, presión arterial y frecuencia cardiaca para luego realizar una familiarización con la banda sin fin. En la segunda y tercera visita se realizaron las pruebas de esfuerzo a la misma hora del día. El protocolo escalonado comenzaba a una velocidad de 5.3 mph, con una inclinación de 1% y cada dos minutos incrementaba 0.8 mph hasta llegar a 12 mph que fue la velocidad máxima determinada en el protocolo. El protocolo de rampa fue similar al escalonado con la diferencia de que las etapas duraban

10.8 segundos y la banda sin fin incrementaba la velocidad 0.006 mph de manera automatizada. El  $\text{VO}_2\text{max}$  promedio en el protocolo escalonado fue de  $48.5 \pm 9.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  en comparación con el protocolo de rampa donde los participantes promediaron  $48.5 \pm 10.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , sin haber diferencia significativa entre protocolos ( $p = 0.95$ ).

En otro estudio por Hogg, Hopker & Mauger (2015), 15 atletas varones semi-fondistas entrenados realizaron tres pruebas de  $\text{VO}_2\text{max}$  con el fin de determinar diferencias entre un protocolo estandarizado de carga progresiva y dos protocolos de carga progresiva individualizados. El protocolo estandarizado inició con una velocidad sub-máxima individual para cada atleta y 3% de inclinación. Cada dos minutos se incrementó la velocidad por un km/h hasta el máximo voluntario. Al finalizar, los participantes descansaron por 10 minutos y luego corrieron nuevamente en la banda sin fin con una carga mayor a la alcanzada en la prueba máxima para, de esta manera, verificar la meseta en el  $\text{VO}_2$ . El segundo y tercer protocolo consistió en cargas de trabajo (velocidad e inclinación) seleccionadas por cada participante, con etapas que podían fluctuar entre 30 segundos a 5 minutos. Esta prueba se conoce en inglés como el “self-paced  $\text{VO}_2\text{max}$  test”. El  $\text{VO}_2\text{max}$  promedio con los protocolos individualizados fue  $67.6 \pm 3.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y  $70.6 \pm 4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , mientras que con el protocolo estandarizado fue  $68.6 \pm 6.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y se encontró diferencia significativa ( $p = 0.009$ ) con el protocolo individualizado de inclinación en comparación al protocolo estandarizado y al protocolo individualizado de velocidad.

Kirkeberg y colegas (2011) evaluaron 12 hombres entrenados con una edad promedio de 29 años. Los participantes realizaron tres pruebas de esfuerzo progresivo graduadas con diferente tiempo de duración (8, 10 y 14 minutos) y una inclinación del

3%. Los protocolos iniciaban a 5 m.p.h. y avanzaban hacia una velocidad específica dependiendo de la duración. Para el protocolo de 8 minutos la velocidad pico alcanzada fue un promedio de 8.4 m.p.h., para el de 10 minutos fue de 8.0 m.p.h. y para el de 14 minutos fue de 7.6 m.p.h. Utilizaron un carro metabólico Parvomedics TrueOne para determinar los valores del  $\text{VO}_2$  relativo a peso en kilogramos y para la frecuencia cardiaca en latidos por minuto utilizaron un monitor de frecuencia cardiaca Polar. En el  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , el protocolo de 8 minutos los participantes promediaron  $49.24 \pm 5.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , en el protocolo de 10 minutos promediaron  $48.90 \pm 4.5.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y en el protocolo de 14 minutos promediaron  $49.1 \pm 4.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y no se encontró diferencia significativa entre protocolos ( $p = 0.22$ ). En la frecuencia cardiaca máxima se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el protocolo de larga duración (14 minutos) en comparación a los otros dos protocolos (8 y 10 minutos).

Sloniger y colegas (1992) evaluaron 12 estudiantes mujeres universitarias para determinar si el déficit máximo de oxígeno durante la carrera con inclinación versus carrera sin inclinación se relaciona con un mayor volumen muscular o con la masa activada en la extremidad inferior del cuerpo. Para la recolección de los datos utilizaron un carro metabólico Ametek, un monitor de frecuencia cardiaca Polar y realizaron una prueba de imagen de resonancia magnética para determinar el volumen muscular de la extremidad inferior del cuerpo. El estudio conllevó un total de siete pruebas en días separados. El primer día consistió en realizar una prueba de esfuerzo no continua con aumentos en velocidad e inclinación para determinar el  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  y dictar la intensidad de las próximas pruebas. Los próximos seis días se dividieron en tres pruebas para determinar las respuestas fisiológicas en carrera sin inclinación y otras tres pruebas en

carrera con inclinación (10%). La velocidad de la banda sin fin en la carrera sin inclinación varió entre 4.9 a 10.6 mph y en la carrera con inclinación varió entre 3.3 a 6.1 mph. El porcentaje de los músculos utilizados en la extremidad inferior en las pruebas de carrera con inclinación fue de  $73.1 \pm 7.4\%$  en comparación con las pruebas de carrera sin inclinación que fueron  $67.0 \pm 8.3\%$ , siendo significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) por lo que los investigadores concluyen que correr con inclinaciones más altas puede provocar un mayor  $VO_{2max}$  debido a la sobre activación muscular en la extremidad inferior del cuerpo.

En atletas de campo travesía, donde se combinan atletas de fondo y semi-fondo, Cunningham (1990) evaluó el  $VO_{2max}$  y el porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio ( $\%VO_{2max}@UV$ ) durante la temporada de competencia. En el estudio se reclutaron 24 corredores (12 hombres y 12 mujeres) que realizaron un protocolo en banda sin fin donde la velocidad fue aumentando cada minuto de 6, 7, 8 a 9 mph. Luego de estos cuatro minutos, se mantuvo la velocidad en 9 mph y se aumentó la inclinación por 2.5 grados cada minuto hasta alcanzar el máximo voluntario. El  $VO_{2max}$  promedio en hombres fue  $74.6 \pm 2.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y en mujeres fue  $66.1 \pm 7.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , siendo significativamente mayor en los hombres. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas por sexo en el  $\%VO_{2max}@VT$  ( $78 \pm 6.2 \%$  y  $79 \pm 6.5 \%$ ).

## **Resumen**

La literatura revisada presenta una variedad de protocolos para la determinación del  $VO_{2max}$  en corredores. Aunque no existe un consenso en cuanto al tipo de protocolo en banda sin fin que es idóneo para esta población, la mayoría de los estudios revisados han utilizado protocolos de carga progresiva escalonada por etapas. La mayoría de los

estudios que han comparado el  $\text{VO}_2\text{max}$  con diferentes protocolos han reportado valores similares entre ellos. Sin embargo, pocos estudios han incluido descripción de las características de fatiga que han provocado la terminación voluntaria de una prueba, y pocos o ningún estudio ha comparado el porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio cuando se utilizan protocolos diferentes.

## **Capítulo III**

### **MÉTODO**

Este estudio, con diseño transversal descriptivo, se realizó con el propósito de comparar dos protocolos para la evaluación del VO<sub>2</sub>max y el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio en corredores de semi-fondo: uno estandarizado y otro de rampa de nueva creación. En este capítulo se presentan los criterios de inclusión y exclusión de participantes, el proceso de reclutamiento y recolección de datos. También se presenta el análisis estadístico que se utilizó para responder a las preguntas y poner a prueba las hipótesis nulas.

#### **Participantes**

En este estudio se reclutaron 22 atletas (hombres = 17, mujeres = 5) corredores semi-fondistas en los eventos de 800 metros, 1500 metros, 3,000 metros y 3,000 metros con obstáculos. Los criterios de inclusión fueron (a) llevar un mínimo de dos años realizando entrenamiento para competir en eventos locales, nacionales o internacionales como aficionados o profesionales en eventos de carreras de semi-fondo en el atletismo, (b) tener entre 18 a 32 años, (c) estar de acuerdo en no realizar entrenamiento de alta intensidad el día antes de las pruebas de esfuerzo máximo, (d) completar y firmar el consentimiento informado y un cuestionario de características de salud, (e) tener transporte al laboratorio de Fisiología del Ejercicio en el Complejo Deportivo Cosme Beitía Sálamo (CBS) en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. Los criterios de exclusión fueron: (a) presencia de alguna lesión muscular o esquelética u otra condición de salud que impidiera realizar una prueba de carga progresiva hasta el máximo voluntario, (b) incapacidad para cumplir con el protocolo del estudio.

## **Procedimiento**

Luego de recibir la autorización del Comité Institucional para la Protección de Seres Humanos en la Investigación (CIPSHI) de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, se inició el proceso de promoción del estudio. Se creó una hoja invitando a los atletas semi-fondistas a participar voluntariamente de la investigación (Anejo B) que incluyó información sobre los objetivos, beneficios, criterios de inclusión y exclusión del estudio y número de contacto del investigador para que aquellas personas interesadas pudiesen comunicarse y obtener más información para iniciar el proceso de reclutamiento. La hoja se distribuyó de manera impresa y digitalizada en las redes sociales (Facebook, Instagram, etc.). Además, se contactaron atletas semi-fondistas mediante contacto con entrenadores y visitas a centros de entrenamiento deportivo. También se contactaron directores atléticos y entrenadores de equipos universitarios con la finalidad de coordinar reuniones virtuales o presenciales donde se presentó la información del estudio a los atletas semi-fondistas.

Se coordinó una reunión presencial, virtual o telefónica con los potenciales participantes que se comunicaron con interés de participar en el estudio. En esta reunión se explicaron los detalles del estudio: objetivos, propósitos, beneficios, riesgos, confidencialidad y procedimientos del estudio. Se verificó cumplimiento con los criterios de inclusión y que no tuviesen criterios que los excluyera de participar en el estudio. Luego se coordinó la primera visita al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, salón 304 en el Complejo Deportivo Cosme Beitía Sálamo (CBS) en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras (UPRRP) y se envió por correo electrónico copia de la hoja de

consentimiento informado (Anejo C), cuestionario de información general (Anejo D) y cuestionario de evaluación pre-participación (Anejo E).

### **Primera visita**

En la primera visita los participantes firmaron el consentimiento informado luego de que todas las preguntas se contestaron. Luego completaron el cuestionario de evaluación de salud pre-participación y el cuestionario de información general, y se tomó un tiempo de reposo para tomar la presión arterial y frecuencia cardiaca en reposo. Después se tomó la medida de peso en kilogramos y estatura en centímetros. Finalmente, luego de un calentamiento, se comenzó con una de las dos pruebas de esfuerzo hasta máximo voluntario cuyo orden se decidió al azar.

### **Medidas en reposo**

#### **Medidas antropométricas**

Para determinar el peso corporal se utilizó una balanza TANITA BWB-800A (TANITA®, Arlington Heights, IL, USA) y se anotó el peso en kilogramos. Para esta medida, cada participante se removió los zapatos y todo lo que tenía en los bolsillos o en la cabeza. Luego se colocó sobre la balanza cuando esta indicó en la pantalla el valor de cero. Una vez sobre la balanza se solicitó a cada participante distribuir el peso en ambos pies por igual, mirando hacia al frente y sin moverse por varios segundos hasta que la balanza indicara el peso en kilogramos. La estatura se determinó utilizando un estadiómetro de pared SECA (SECA gmbh & co. Kg., Hamburg, Germany). Cada participante se removió los zapatos y cualquier artículo u objeto en la cabeza o en los pies que pudiese alterar la medida. Luego, se colocaron de espaldas al estadiómetro con los pies planos, espalda derecha y glúteos tocando la barra vertical del mismo. Se alineó la

cabeza utilizando el plano de Frankfurt (de Hierro Laka et al., 2012) como referencia, de manera que la parte inferior de la fosa de los ojos permaneciera en una línea horizontal con la parte superior del orificio de la oreja. Se le pidió a cada participante tomar una inhalación profunda y sostenerla mientras la barra de medición se deslizó hasta tocar la cabeza y se tomó la medida en centímetros.

### **Presión arterial y frecuencia cardiaca en reposo**

Para determinar la presión arterial en reposo cada participante reposó durante al menos cinco minutos en una silla con la espalda y el brazo apoyado. Se utilizó un esfigmomanómetro digital OMRON (OMRON Healthcare Inc, USA) instruyendo a cada participante a subir la manga de la camisa o descubrir el brazo para colocar el borde inferior de la bocamanga una pulgada por encima de la fosa antecubital en la articulación del codo. La bocamanga se ajustó y luego se inició la medida y se anotó la presión arterial en milímetros de mercurio (mmHg) y la frecuencia cardiaca en reposo en latidos por minuto (lpm).

### **Frecuencia cardiaca en ejercicio**

Para la medida de frecuencia cardiaca durante el ejercicio se utilizó un monitor de frecuencia cardiaca Polar T31 con una banda elástica inalámbrica y un reloj marca Polar FT1 (Polar®, USA). La banda elástica se colocó en el pecho encima de la piel, debajo de los pectorales y justo encima de la apófisis xifoides en el esternón, y se humedecieron los electrodos en la banda antes de colocarla. Utilizando el reloj, se identificaron y anotaron los valores de la frecuencia cardiaca cada 30 segundos.

### **Procedimiento del participante**

Previo a la primera y segunda visita se le recomendó a cada participante: (a) tener al menos 7 a 8 horas de sueño por al menos dos noches antes de cada prueba, (b) no realizar ejercicio o actividad física intensa o vigorosa al menos un día antes de la prueba, (c) no fumar ni comer ni tomar bebidas con cafeína al menos dos horas antes de la visita, (d) ingerir al menos 8 onzas de agua una hora antes de la prueba. También se le recordó a cada participante que las dos visitas se programaron con un mínimo de 48 horas y un máximo de 14 días de separación, para prevenir posibles cambios en la aptitud física por el entrenamiento deportivo y proveer suficiente tiempo de recuperación entre las dos pruebas de esfuerzo máximo (Storm, 2018). La selección del protocolo para la prueba máxima en la primera visita se realizó de manera aleatoria.

### **Familiarización con los protocolos y pruebas**

Aunque algunos de los participantes tenían experiencia en este tipo de pruebas, otros requirieron un breve periodo de familiarización que se llevó a cabo en la primera visita, antes de la prueba máxima. Esta familiarización consistió en un breve calentamiento y completar la primera etapa del protocolo de prueba máxima. Luego se proveyó suficiente descanso antes de proceder a realizar la prueba máxima.

### **Prueba de VO<sub>2</sub>max**

Antes de comenzar la prueba se calibró el carro metabólico PARVO MEDICS TRUEONE 2400 (ParvoMedics Inc., Salt Lake City, Utah, USA). Para la calibración se introdujeron al programado del computador True Max 2400 los datos de temperatura ambiental, humedad relativa y presión barométrica provistos por una estación ambiental Davis Perception II (Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA). Luego se calibró el analizador de gases utilizando un tanque de gas con un valor conocido (16%

O<sub>2</sub>, 4% CO<sub>2</sub>) y medidor de flujo de aire con una jeringuilla Hans Rudolph de 3 L (Hans Rudolph Inc., Shawnee, KS, USA). Luego de calibrar el carro metabólico, se entraron los datos del participante (peso, talla y sexo) en el programado.

Luego de finalizar la preparación del equipo, se inició el proceso de preparar al participante para la prueba con los equipos y materiales requeridos. Se le colocó el monitor de frecuencia cardiaca Polar y la mascarilla de recolección de gases Hans Rudolph (Hans Rudolph Inc., Shawnee, KS, USA) adecuada a su tamaño. Se le instruyó a cada participante sobre las señales y directrices para mantener una comunicación efectiva durante la prueba, (a) con el pulgar hacia arriba (“todo bien”) de no tener molestias y poder continuar la prueba sin problemas, (b) con el dedo índice hacia arriba para indicar que le resta aproximadamente un minuto para detenerse. Además, se le mostró al participante una manera segura para salir de la banda sin fin en movimiento apoyando las manos en las barandas laterales y los pies en los laterales de la banda sin fin cuando ya no pudiera continuar con la prueba voluntaria. También se explicó el proceso para determinar la percepción de esfuerzo utilizando la escala de Borg (6-20), en el que 15 segundos antes de finalizar cada etapa del protocolo el investigador mostraría una tabla con valores de 6 al 20 (6 = Bien, Bien Liviano hasta el 20 = Bien, Bien Fuerte (Figura 1)). Cada participante eligió y señaló el número que representó el esfuerzo percibido durante la prueba de la manera más precisa posible (Borg, 1982). Luego se explicó el protocolo de prueba de VO<sub>2</sub>max y las etapas correspondientes: el protocolo estandarizado de Bruce (Figura 2) y un protocolo de rampa de nueva creación (Figura 3) que se seleccionaron de manera aleatorizada.

El protocolo estandarizado de Bruce (Figura 2) consistió de etapas de tres minutos de duración cada una, en donde en cada etapa aumentó 2% de inclinación y 0.8 mph la velocidad. El protocolo comenzó con un 10% de inclinación y velocidad de 1.7 mph en su primera etapa, luego aumentó 12% la inclinación y 2.5 mph la velocidad en su segunda etapa, en la tercera etapa aumentó a 14% la inclinación y la velocidad a 3.4 mph, 16% de inclinación y velocidad de 4.2 mph en su cuarta etapa, 18% de inclinación y 5.0 mph en su quinta etapa, 20% de inclinación y 5.8 mph en su sexta etapa. Luego de esta sexta etapa se realizó una modificación para añadir una séptima etapa con 20% de inclinación a 6.6 mph para aquellos atletas semi-fondistas que lo requirieran para poder alcanzar su  $VO_{2max}$ .

El protocolo de rampa de nueva creación (Figura 3) consistió de etapas de dos minutos de duración con variedad en la velocidad e inclinación dependiendo del sexo. Para los hombres, el protocolo comenzó con 0% de inclinación a 4 mph en la primera etapa, 0% de inclinación a 6 mph en la segunda etapa, 0% de inclinación a 8 mph en la tercera etapa, 0% de inclinación a 10 mph en la cuarta etapa, 0% de inclinación a 11 mph en la quinta etapa, 3% de inclinación a 11 mph en la sexta etapa, 6% de inclinación a 11 mph en la séptima etapa y 9% de inclinación a 11 mph en la octava etapa. En caso de que algún atleta hombre sobrepasara la octava etapa, esta etapa se repetiría para ayudarle a alcanzar su  $VO_{2max}$ . Para las mujeres, el protocolo comenzó con 0% de inclinación a 3 mph en la primera etapa, 0% de inclinación a 5 mph en la segunda etapa, 0% de inclinación a 7 mph en la tercera etapa, 0% de inclinación a 9 mph en la cuarta etapa, 0% de inclinación a 10 mph en la quinta etapa, 2.5% de inclinación a 10 mph en la sexta etapa, 5% de inclinación a 10 mph en la séptima etapa y 7.5% de inclinación a 10 mph en

la octava etapa. En caso de que alguna de las atletas mujeres sobrepasara la octava etapa, esta etapa se repetiría para ayudarle a alcanzar su  $VO_2\text{max}$ .

La prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario para determinar el  $VO_2\text{max}$  se realizó en una banda sin fin WOODWAY (Woodway USA, Inc., Waukesha, WI, USA). Cada participante completó una etapa de calentamiento de su preferencia. Una vez culminó el calentamiento, se verificó que todo el equipo estuviera en orden para dar inicio a la prueba. Para determinar el alcance de un esfuerzo máximo y poder considerar un  $VO_2\text{max}$ , se utilizaron cuatro criterios, de los cuales el sujeto debía cumplir con al menos dos: (a) razón de intercambio respiratorio (RIR) mayor de 1.1, (b) alcanzar al menos un 90% de la frecuencia cardiaca máxima estimada ( $220 - \text{edad}$ ), (c) nivelamiento de  $VO_2$  o cambio menor de  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  o  $2.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  en los últimos dos minutos de la prueba, (d) Percepción de Esfuerzo  $> 17$  utilizando la tabla de Percepción de Esfuerzo de Borg del 6-20 (Borg, 1982).

Valor	Percepción de Esfuerzo
6	
7	Bien, Bien Liviano
8	
9	Bien Liviano
10	
11	Liviano
12	
13	Algo Fuerte
14	
15	Fuerte
16	
17	Bien Fuerte
18	
19	
20	Bien, Bien Fuerte

Figura 1. Escala de Percepción de Esfuerzo de Borg de 6-20 (Borg, 1982)

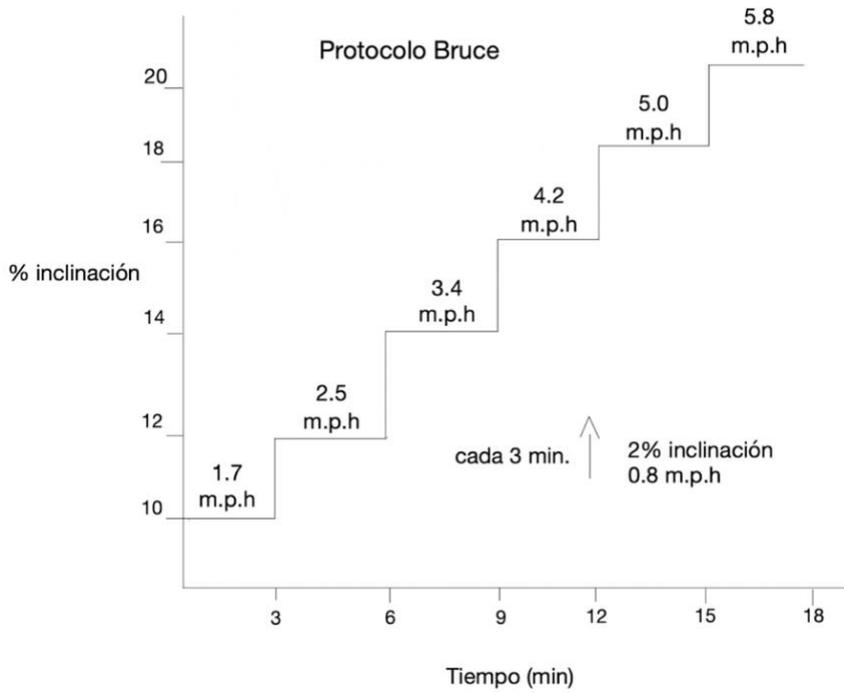


Figura 2: Protocolo Bruce (Gibson, Wagner & Heyward, 2019)

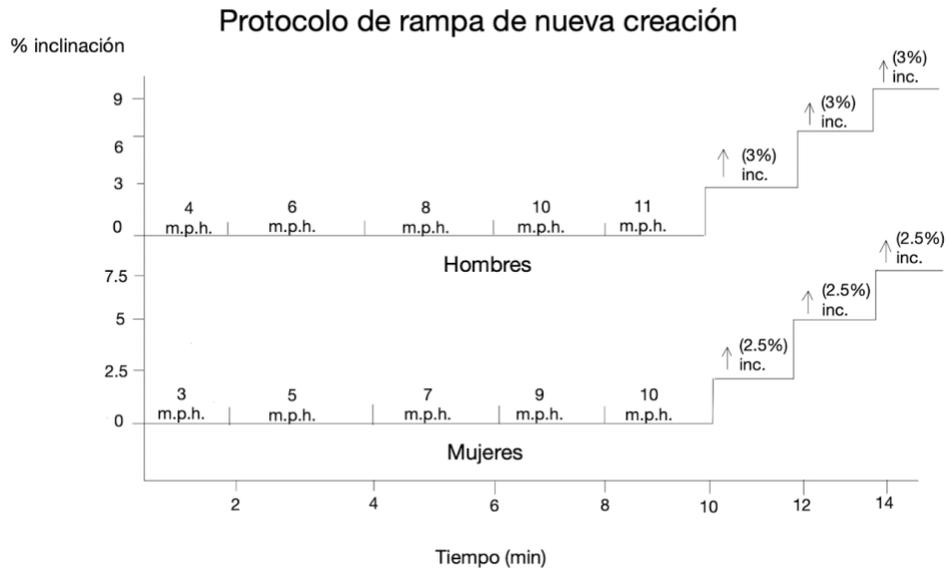


Figura 3: Protocolo de rampa de nueva creación

Luego de ofrecer todas las explicaciones a cada participante, se programó el carro metabólico para determinar los siguientes valores en periodos de 30 segundos: consumo de oxígeno en litros por minuto ( $\text{VO}_2$ ), consumo de oxígeno relativo al peso en mililitros de oxígeno por kilogramos de peso por minuto ( $\text{VO}_2: \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}$ ), razón de intercambio respiratorio (RIR), ventilación en litros por minuto ( $\text{VE}: \text{l}/\text{min}$ ), volumen de bióxido de carbono exhalado en litros por minuto ( $\text{VCO}_2: \text{L}/\text{min}$ ) y frecuencia cardiaca en latidos por minuto ( $\text{FC}: \text{lpm}$ ). Se realizaron dos pruebas de esfuerzo hasta máximo voluntario con dos protocolos diferentes y con un mínimo de 48 horas y un máximo de 14 días entre ellas. Durante cada prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario se monitorearon los signos y síntomas según recomienda el Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM, Guidelines, 2021). Una vez cada participante alcanzó su máximo esfuerzo y se detuvo durante la prueba, caminó a baja velocidad por dos minutos mientras se monitoreaba la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno. Luego se procedió a remover el equipo, llevando éste a las áreas designadas inmediatamente para limpieza y desinfección.

### **Segunda Visita**

En la segunda visita los participantes descansaron sentados por al menos cinco minutos y se les tomó la presión arterial y frecuencia cardiaca en reposo. Luego pasaron a la medida de peso en kilogramos. En esta segunda visita se realizó el mismo procedimiento que en la primera visita, con excepción del protocolo de prueba de esfuerzo donde se realizó el protocolo que no se seleccionó al azar para la primera visita.

### **Umbral ventilatorio y porcentaje de $\text{VO}_2\text{max}$ en el umbral ventilatorio**

El umbral ventilatorio se calculó evaluando el equivalente ventilatorio para el bióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ) en relación el equivalente ventilatorio para el oxígeno ( $VE/VO_2$ ). Para este cálculo se creó una gráfica con los datos del  $VE/VO_2$  y  $VE/VCO_2$  recolectados con el carro metabólico durante la prueba de esfuerzo y se detectó el punto cuando aumenta el equivalente ventilatorio de oxígeno sin que ocurra un aumento similar en el equivalente ventilatorio del bióxido de carbono (Rivera et al., 1992). El cálculo se corroboró identificando el momento donde hubo un segundo incremento exponencial en la ventilación durante la prueba. Según sugiere Tanaka y Swensen (1998), en participantes altamente entrenados se detectan dos umbrales ventilatorios durante una prueba de esfuerzo progresivo hasta el máximo voluntario. Usualmente es en el segundo aumento abrupto de la ventilación donde se puede detectar el segundo umbral ventilatorio y éste usualmente concuerda con el cálculo basado en el equivalente ventilatorio de oxígeno y de bióxido de carbono. El porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:  $(VO_2 \text{ en el umbral ventilatorio} / VO_{2max}) * 100$ , una de las medidas que provee el sistema metabólico utilizado: PARVO MEDICS TRUEONE 2400.

### **Variables**

Las variables dependientes en este estudio fueron: (a)  $VO_{2max}$ , (b) umbral ventilatorio, (c) percepción de esfuerzo, (d) frecuencia cardíaca, (e) razón de intercambio respiratorio, (f) porcentaje de  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio, (g) tiempo total hasta el máximo voluntario, y (h) tiempo hasta el umbral ventilatorio. Las variables independientes fueron: (a) Protocolo Bruce y (b) Protocolo de rampa de nueva creación.

### **Análisis de Datos**

Luego de verificar la distribución de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, se realizó un análisis de tendencia central y distribución (media y desviación estándar) en todas las variables del estudio. Para identificar diferencias por sexo se utilizó una prueba t independiente y una prueba t dependiente para evaluar diferencias entre los dos protocolos. Para evaluar asociación entre las variables se realizó una prueba de correlación Spearman. Para identificar el nivel de concordancia entre los dos protocolos se obtuvo el coeficiente de concordancia que se utiliza para evaluar diferencias entre dos medidas de una misma variable (Lin, 1989, 2000). Para poner a prueba las hipótesis nulas, se realizaron los siguientes análisis:

**H<sub>01</sub>:** No habrá diferencia en el VO<sub>2</sub>max con un protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce.

Análisis: prueba t dependiente y prueba de concordancia

**H<sub>02</sub>:** No habrá diferencia en el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio con un protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce.

Análisis: prueba t dependiente y prueba de concordancia

**H<sub>03</sub>:** No habrá diferencia en el tiempo total hasta máximo voluntario en la prueba de esfuerzo máximo en el protocolo Bruce en comparación con un protocolo de rampa de nueva creación

Análisis: Prueba t dependiente

Se utilizó un alfa menor de 0.05 para detectar significancia estadística y se utilizó el programado STATA, versión 15.1 (StataCorp, College Station, Texas, USA) para llevar a cabo los análisis estadísticos.

## CAPÍTULO IV

### Resultados

Este estudio, con diseño transversal descriptivo, se realizó con el propósito de comparar dos protocolos para la evaluación del VO<sub>2</sub>max y el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio en corredores de semi-fondistas: uno estandarizado y uno de rampa de nueva creación. El procedimiento del estudio consistió en realizar dos medidas directas de consumo de oxígeno en pruebas de carga progresiva hasta el máximo voluntario y comparar las respuestas fisiológicas de los participantes entre las pruebas. En este capítulo se presentan los datos descriptivos de los participantes, y se describen y comparan las condiciones ambientales en el laboratorio y las respuestas fisiológicas de los participantes en cada protocolo.

#### Participantes

Un grupo de 17 hombres (77% de la muestra) y 5 mujeres (23% de la muestra) atletas de semi-fondo participaron en el estudio. Todos los participantes cumplieron con el requisito de llevar un mínimo de dos años activamente compitiendo en eventos de semi-fondo, que incluye carreras de 800 metros, 1500 metros, 3000 metros y 3000 metros con obstáculos. El promedio de años de entrenamiento y competición fue  $8.7 \pm 4.6$ , sin haber diferencia entre hombres y mujeres ( $P = 0.88$ ). La mayoría de los participantes (59%) indicaron estar activamente participando en la Liga Atlética Interuniversitaria (LAI) y 68% indicó no haber tenido experiencia previa realizando una prueba máxima de ejercicio. Todas las mujeres corredoras indicaron residir fuera del área metropolitana, mientras que 41% de los hombres corredores indicaron residir en el área metropolitana.

De todos los participantes, 86% (19/22) cumplió con dos o más de los requisitos para determinar y considerar un  $\text{VO}_2\text{max}$  en ambos protocolos: Bruce y rampa de nueva creación. Mientras que con el protocolo de rampa de nueva creación todos cumplieron con dos o más de los requisitos, 14% (3/22) no cumplió con los requisitos con el protocolo Bruce. Todos los participantes indicaron sentir fatiga a nivel central como la razón principal para detenerse con el protocolo de rampa de nueva creación mientras que con el protocolo Bruce el 73% (16/22) de los participantes indicaron detenerse por fatiga en la extremidad inferior del cuerpo.

En la Tabla 1 se presenta la media y desviación estándar de las variables descriptivas de la totalidad de los participantes y también divididos por sexo. La edad promedio del grupo fue  $22.4 \pm 3.6$  años, sin haber diferencia entre hombres y mujeres ( $P = 0.99$ ). Los hombres tuvieron mayor estatura que las mujeres ( $171.8 \pm 6.8$  cm vs.  $161.78 \pm 5.3$  cm, respectivamente;  $P = 0.007$ ) y mayor peso que las mujeres ( $62.4 \pm 6.2$  kg vs.  $49.8 \pm 3.5$  kg, respectivamente;  $P = 0.0004$ ). La frecuencia cardiaca (FC) en reposo no fue diferente entre hombres y mujeres ( $P = 0.30$ ), con un promedio de  $57 \pm 8$  lpm. Tampoco hubo diferencia por sexo en la presión arterial sistólica y diastólica en reposo, con un promedio de 117/71 mmHg. No hubo diferencia significativa en estas variables descriptivas cuando se comparó el día de evaluación utilizando el protocolo Bruce y el día utilizando el protocolo de rampa de nueva creación.

Tabla 1. Características Descriptivas de Participantes en el estudio (media  $\pm$  desviación estándar)

VARIABLES	Total (n=22)	Hombres (n=17)	Mujeres (n=5)
Edad	22.41 $\pm$ 3.6	22.41 $\pm$ 3.8	22.40 $\pm$ 3.4
Estatura (cm)	169.55 $\pm$ 7.7	171.84 $\pm$ 6.8*	161.8 $\pm$ 5.3
Peso (kg)	59.51 $\pm$ 7.9	62.41 $\pm$ 6.3*	49.65 $\pm$ 3.4
FC reposo (lpm)	57.37 $\pm$ 8.3	57.44 $\pm$ 8.3	57.10 $\pm$ 8.6
PAS reposo (mmHg)	117.65 $\pm$ 11.1	119.88 $\pm$ 10.9	113.80 $\pm$ 11.65
PAD reposo (mmHg)	73.46 $\pm$ 10.1	70.32 $\pm$ 8.5	76.60 $\pm$ 11.6

PAS = Presión Arterial Sistólica, PAD = Presión Arterial Diastólica, FC = Frecuencia Cardíaca; \*P<0.05 comparado con mujeres.

En la Tabla 2 se presentan las condiciones ambientales en el laboratorio durante cada uno de los dos protocolos. Las condiciones de temperatura, presión barométrica y humedad relativa no fueron diferentes durante las evaluaciones utilizando los dos protocolos y tampoco cuando se evaluaron hombres vs. mujeres. Por lo tanto, se presentan los promedios para todos los participantes por protocolo. Durante las pruebas utilizando el protocolo Bruce, la temperatura promedio fue 22.1 °C, la presión barométrica fue 764.1 mmHg y la humedad relativa fue 69.9 %. Durante las pruebas utilizando el protocolo de rampa, estos valores fueron 22.2 °C, 763.9 mmHg y 68.7 %, respectivamente.

Tabla 2. Características ambientales en el laboratorio durante los dos protocolos bajo estudio

VARIABLES	Protocolo Bruce	Protocolo Rampa de Nueva Creación	P
Temperatura °C	22.14 ± 0.9	22.18 ± 1.1	0.85
Presión barométrica (mmHg)	764.14 ± 0.9	763.95 ± 1.3	0.49
Humedad Relativa (%)	69.91 ± 5.7	68.72 ± 4.3	0.43

En la Figura 4 se presentan los resultados del VO<sub>2</sub>max y el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio en 22 atletas semi-fondistas que completaron ambos protocolos: el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación. El VO<sub>2</sub>max promedio con el protocolo Bruce fue 63.04 ± 5.72 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> y con el protocolo de rampa de nueva creación fue 63.10 ± 5.82 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup>, sin detectarse diferencia significativa entre los protocolos tanto en hombres como en mujeres. Sin embargo, en ambos protocolos, los hombres tuvieron mayor VO<sub>2</sub>max que las mujeres. El promedio en hombres con el protocolo Bruce fue 65.0 ± 5.0 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> y en las mujeres fue 56.4 ± 0.7 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> (P = 0.0001). Con el protocolo de rampa de nueva creación, los hombres promediaron 64.7 ± 5.3 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> y las mujeres promediaron 57.8 ± 4.4 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> (P= 0.004). El VO<sub>2</sub>max con el protocolo Bruce y con el protocolo de rampa de nueva creación no fue significativamente diferente, por lo que se retiene la hipótesis nula que establece que no habría diferencia en el VO<sub>2</sub>max con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce. Además, no hubo diferencia significativa por sexo ni entre protocolos cuando se comparó el porcentaje del

VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio, por lo que se retiene la hipótesis nula que establece que no habría diferencia significativa en el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce. Con el protocolo Bruce, el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio promedio fue 88.9 % (hombres = 88.6 % y mujeres = 90.0 %). Con el protocolo de rampa de nueva creación el promedio fue 89.6 % (hombres = 88.8 % y mujeres = 92.4 %).

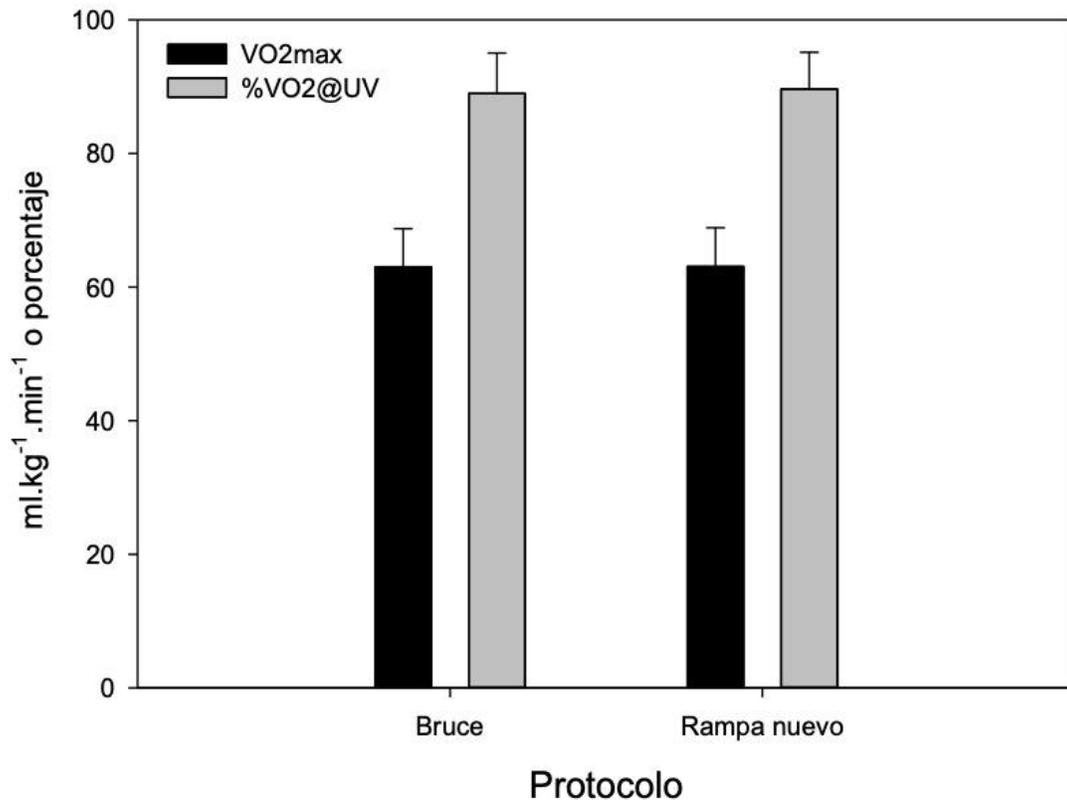


Figura 4. VO<sub>2</sub>max (ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup>) y porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio comparando el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación en atletas semi-fondistas.

En la Tabla 3 se presentan los promedios y desviación estándar de las otras respuestas fisiológicas en cada protocolo y dividido por sexo. La percepción de esfuerzo no fue diferente entre hombres y mujeres, tanto en el protocolo Bruce como en el protocolo de rampa de nueva creación. Sin embargo, tanto en los hombres como en las mujeres, la percepción de esfuerzo fue mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce (18.5 vs. 17.4,  $P = 0.007$ ). Con el protocolo Bruce, el tiempo total de la prueba fue mayor en los hombres en comparación con las mujeres ( $17.9 \pm 1.1$  vs.  $16.0 \pm 0.25$  min, respectivamente ( $P = 0.0002$ ), pero el tiempo total fue similar en hombres y mujeres con el protocolo de rampa de nueva creación ( $13.7 \pm 0.86$  vs.  $13.8 \pm 0.65$  min, respectivamente,  $P = 0.40$ ). La comparación del tiempo total de prueba alcanzado con el protocolo Bruce fue mayor que con el protocolo de rampa de nueva creación ( $17.4 \pm 1.3$  min vs.  $13.8 \pm 0.81$  min,  $P < 0.00001$ ), por lo que se rechaza la hipótesis nula que establece que no habría diferencia en el tiempo total hasta el máximo voluntario en la prueba con el protocolo Bruce en comparación con el protocolo de rampa de nueva creación.

No se observó diferencia significativa por sexo en la frecuencia cardiaca máxima alcanzada en los dos protocolos. Con el protocolo Bruce, los hombres promediaron 189.9 lpm y las mujeres 183 lpm. Con el protocolo de rampa de nueva creación, los hombres promediaron 193.1 lpm y las mujeres 187 lpm. Sin embargo, cuando se compararon ambos protocolos, la frecuencia cardiaca máxima fue mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce ( $191.7 \pm 6.9$  lpm vs.  $188.3 \pm 8.2$  lpm, respectivamente,  $P = 0.005$ ).

La razón de intercambio respiratorio (RIR) máxima alcanzada durante la prueba con los dos protocolos no fue diferente entre hombres y mujeres. Con el protocolo Bruce, los hombres alcanzaron  $1.13 \pm 0.06$  y las mujeres  $1.11 \pm 0.02$  ( $P = 0.59$ ). Con el protocolo de rampa de nueva creación, los hombres alcanzaron  $1.17 \pm 0.05$  y las mujeres  $1.12 \pm 0.03$  ( $P = 0.12$ ). La RIR máxima alcanzada tampoco fue diferente entre protocolos ( $P = 0.08$ ).

El  $\text{VO}_2$  en el umbral ventilatorio fue mayor en hombres en comparación con las mujeres en ambos protocolos. Con el protocolo Bruce, el  $\text{VO}_2$  en el umbral ventilatorio en hombres fue  $57.5 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y en las mujeres fue  $50.9 \pm 2.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $P = 0.005$ ). Con el protocolo de rampa de nueva creación, el  $\text{VO}_2$  en el umbral ventilatorio en hombres fue  $57.5 \pm 6.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y en las mujeres fue  $53.4 \pm 5.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $P = 0.08$ ). Sin embargo, este valor no fue diferente entre protocolos (Rampa de nueva creación =  $56.6 \pm 6.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , Bruce =  $56.0 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

La frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio no fue diferente entre hombres y mujeres en ambos protocolos. Con el protocolo Bruce, los hombres y las mujeres promediaron 176.9 lpm ( $P = 0.90$ ). Con el protocolo de rampa de nueva creación, los hombres promediaron 181.2 lpm y las mujeres 179.2 lpm ( $P = 0.67$ ). Sin embargo, la frecuencia cardiaca en el umbral ventilatorio fue mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce ( $180.7 \pm 7.2 \text{ lpm}$  vs.  $176.9 \pm 7.4 \text{ lpm}$ , respectivamente ( $P = 0.01$ )). La razón de intercambio respiratorio en el umbral ventilatorio no fue diferente entre protocolos y tampoco fue diferente entre hombres y mujeres.

Tabla 3. Respuestas fisiológicas entre hombres y mujeres divididos por protocolo de prueba (media  $\pm$  desviación estándar).

Variables	Protocolo Bruce			Protocolo Rampa			P
	Total (n=22)	Hombres (n=17)	Mujeres (n=5)	Total (n=22)	Hombres (n=17)	Mujeres (n=5)	
RPE	17.36 $\pm$ 3.06	17.24 $\pm$ 3.40*	17.80 $\pm$ 1.64	18.50 $\pm$ 2.30	18.29 $\pm$ 2.57^	19.20 $\pm$ 0.84	<0.01
Tiempo Total (min)	17.42 $\pm$ 1.26	17.85 $\pm$ 1.10*	15.95 $\pm$ 0.25	13.76 $\pm$ 0.81	13.74 $\pm$ 0.86^	13.83 $\pm$ 0.65	0.0
FCmax (lpm)	188.32 $\pm$ 8.18	189.88 $\pm$ 8.28*	183 $\pm$ 5.61	191.73 $\pm$ 6.88	193.12 $\pm$ 6.52^	187 $\pm$ 6.52	<0.01
RIR	1.12 $\pm$ 0.06	1.13 $\pm$ 0.06	1.11 $\pm$ 0.02	1.15 $\pm$ 0.05	1.17 $\pm$ 0.05	1.12 $\pm$ 0.03	0.08
VO <sub>2</sub> @UV (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	56.03 $\pm$ 5.97	57.54 $\pm$ 5.86	50.92 $\pm$ 2.74	56.56 $\pm$ 6.56	57.51 $\pm$ 6.78	53.36 $\pm$ 5.01	0.66
FC @UV (lpm)	176.86 $\pm$ 7.42	177.06 $\pm$ 7.83*	176.20 $\pm$ 6.57	180.73 $\pm$ 7.23	181.18 $\pm$ 7.23^	179.20 $\pm$ 7.85	0.01
VO <sub>2</sub> max (l/min)	3.77 $\pm$ 0.65	4.05 $\pm$ 0.41*	2.80 $\pm$ 0.20	3.76 $\pm$ 0.66	4.03 $\pm$ 0.46^	2.86 $\pm$ 0.32	0.97
VO <sub>2</sub> max @UV (l/min)	3.36 $\pm$ 0.64	3.59 $\pm$ 0.50*	2.54 $\pm$ 0.31	3.37 $\pm$ 0.63	3.59 $\pm$ 0.52^	2.65 $\pm$ 0.37	0.80
RIR @UV	0.99 $\pm$ 0.03	0.98 $\pm$ 0.04*	1.00 $\pm$ <.01	1.00 $\pm$ 0.01	1.00 $\pm$ 0.01^	0.99 $\pm$ <.01	0.06

PE = percepción de esfuerzo, FCmax = frecuencia cardiaca máxima, VO<sub>2</sub> = consumo de

oxígeno, RIR = razón de intercambio respiratorio, @UV = en el umbral ventilatorio. La

columna P a la derecha = entre protocolos cuando se consideran todos los participantes, el

símbolo \* P<0.05 = comparación por sexo en el protocolo Bruce, ^P<0.05 = comparación

por sexo en el protocolo de rampa.

En la Tabla 4 se presenta el análisis de correlación Spearman para las variables dependientes del estudio entre los protocolos de prueba de esfuerzo. Las variables seleccionadas para este análisis fueron el tiempo total de la prueba, la frecuencia cardiaca máxima, el VO<sub>2</sub>max y el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio. Esta prueba se realizó utilizando los 22 participantes que completaron ambos protocolos de prueba de esfuerzo máximo en el estudio. El tiempo total en la prueba, la frecuencia cardiaca máxima, el VO<sub>2</sub>max y porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa correlacionaron directa y significativamente.

Tabla 4. Correlaciones entre las variables independientes del estudio con el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación.

	Protocolo Bruce			
	Tiempo (min)	FCmax (lpm)	VO <sub>2</sub> max	%VO <sub>2</sub> max@VT
Tiempo (min)	rho = 0.50 P = 0.018			
FCmax (lpm)		rho = 0.81 P < 0.001		
VO <sub>2</sub> max			rho = 0.68 P < 0.001	
%VO <sub>2</sub> max@VT				rho = 0.50 P = 0.019

Las figuras 5 – 7 presentan el gráfico de la diferencia en las medidas con relación al promedio entre las medidas en cada protocolo (Bland & Altman, 1986) y el análisis de concordancia que incluye el coeficiente y los límites de concordancia para la frecuencia cardíaca máxima (Figura 5), VO<sub>2</sub>max (Figura 6), y porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio (Figura 7). La línea en el centro representa cero diferencias entre las medidas con los dos protocolos y la línea superior e inferior representan 2 desviaciones estándar de la diferencia entre las medidas.

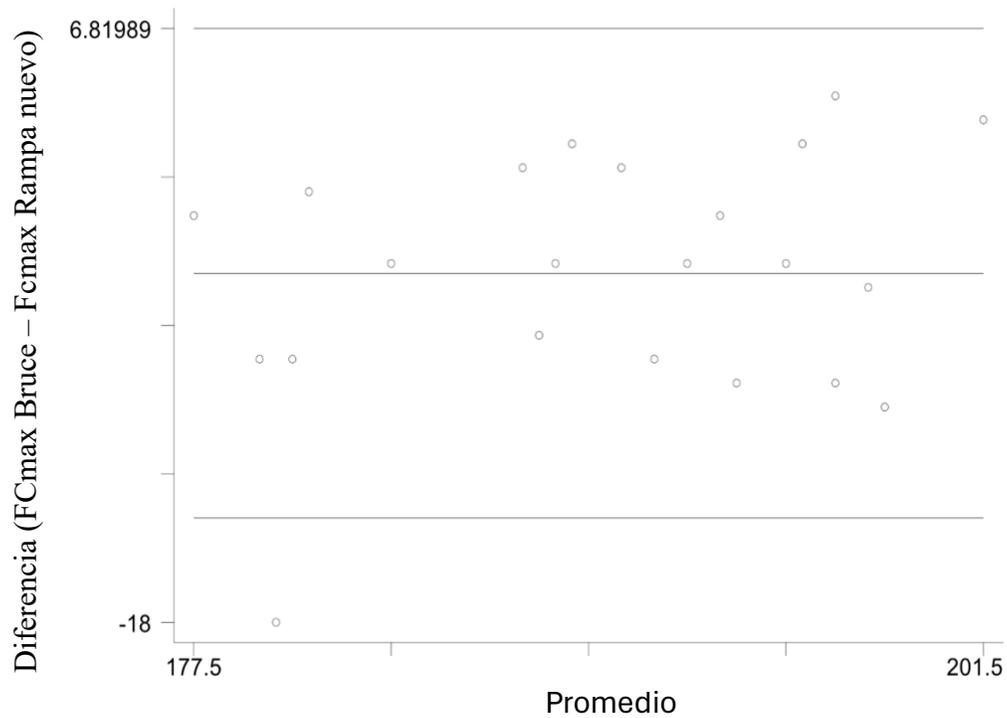


Figura 5. Análisis de concordancia en la frecuencia cardiaca máxima entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación (promedio y desviación estándar de la diferencia =  $-3.4 \pm 5.1$ , coeficiente de concordancia = 0.70,  $P < 0.0001$ , límite de concordancia a 95%: -13.4-6.6 latidos por minuto). La frecuencia cardiaca máxima es en promedio 3.4 latidos por minuto mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce.

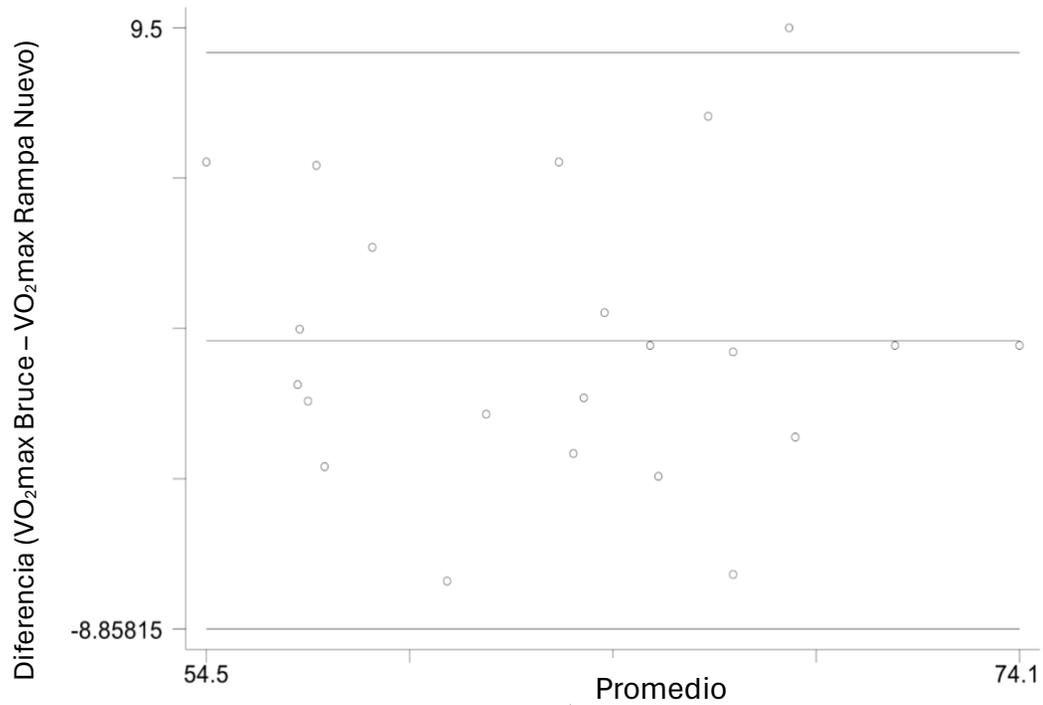


Figura 6. Análisis de concordancia en el  $VO_2\text{max}$  entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación (promedio y desviación estándar de la diferencia =  $-0.059 \pm 4.4$ , coeficiente de concordancia = 0.71,  $P < 0.0001$ , límite de concordancia a 95%:  $-8.7$ - $8.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). El  $VO_2\text{max}$  con el protocolo de rampa de nueva creación es en promedio  $0.059 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  mayor en comparación con el protocolo Bruce.

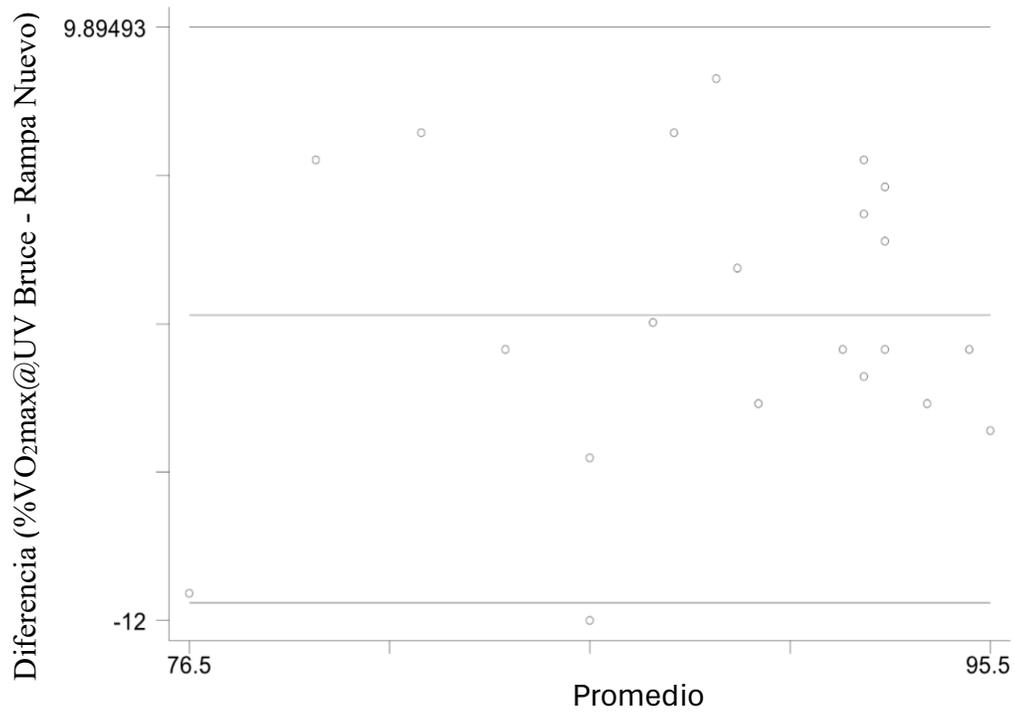


Figura 7. Análisis de concordancia en el porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio entre el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación (promedio y desviación estándar de la diferencia =  $-0.7 \pm 5.3$ , coeficiente de concordancia = 0.57,  $P < 0.0001$ ; límite de concordancia a 95%: -11.1-9.7 %). El porcentaje del VO<sub>2</sub>max en el umbral ventilatorio es en promedio 0.7% mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce.

## **CAPÍTULO V**

### **Discusión**

Esta investigación, con diseño transversal descriptivo, es el primer estudio en Puerto Rico en donde se comparan las respuestas fisiológicas de atletas semi-fondistas utilizando dos diferentes protocolos de prueba de esfuerzo máximo: uno estandarizado y uno de rampa de nueva creación. Específicamente, se evaluó y comparó la frecuencia cardíaca máxima, el  $VO_2\text{max}$  y el porcentaje de  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio. En el estudio participaron 22 atletas de semi-fondo (17 hombres y 5 mujeres) entre las edades de 18 a 32 años. En este capítulo se presenta la discusión e interpretación de los resultados y se comparan los hallazgos con otros estudios previamente publicados. Se describen las fortalezas y limitaciones del estudio como también la relevancia y las recomendaciones para futuras investigaciones.

#### **Condiciones Ambientales en el Laboratorio y Variables Fisiológicas en Reposo**

Dado que las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la presión barométrica en el laboratorio durante las pruebas utilizando el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación no fueron diferentes, se interpreta que los participantes realizaron ambas pruebas de esfuerzo máximo en igualdad de condiciones ambientales, lo que facilita la comparación entre protocolos. Además, las dos pruebas de esfuerzo máximo se llevaron a cabo entre 2 a 14 días de separación, que es el tiempo de recuperación recomendado para no afectar las respuestas fisiológicas y poder comparar los resultados (Lima et. Al, 2020).

Además de las condiciones ambientales, los valores en reposo previo a las pruebas como, por ejemplo, la presión arterial, frecuencia cardíaca y peso corporal en los

participantes no fueron diferentes entre protocolos, lo que también indica igualdad de condiciones en los parámetros fisiológicos antes de comenzar las pruebas de esfuerzo máximo.

### **Consumo Máximo de Oxígeno (VO<sub>2</sub>max) y Frecuencia Cardiaca Máxima**

Al no encontrarse diferencia significativa en el VO<sub>2</sub>max ni en la razón de intercambio respiratorio en el punto máximo de la prueba entre los dos protocolos, se interpreta que el protocolo de rampa de nueva creación es uno aceptable para evaluar el VO<sub>2</sub>max en atletas de semi-fondo. Además, la poca diferencia en el VO<sub>2</sub>max y alto nivel de concordancia entre estos dos protocolos, sugieren que el protocolo de rampa de nueva creación ofrece datos válidos como el protocolo estandarizado de Bruce. Con el protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación los hombres promediaron 65.0 y 64.7 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> respectivamente, lo que los clasifica en una categoría superior según el sexo y la edad (Gibson, Wagner & Heyward, 2019). Las mujeres promediaron 56.4 y 57.8 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> con protocolo Bruce y el protocolo de rampa de nueva creación, respectivamente, lo que las clasifica también en una categoría superior según el sexo y la edad (Gibson, Wagner & Heyward, 2019).

Comparando el VO<sub>2</sub>max en ambos protocolos con los reportados por MacDougall y colegas (1991) en hombres atletas corredores internacionales de media distancia (rango = 70 – 86 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup>), una minoría de los hombres en el presente estudio (6 de 17 = 35%) tuvieron valores similares. En la modalidad de carreras de fondo o eventos de distancia en el atletismo en mujeres, el rango de valores fluctúa entre 55 a 72 ml· kg<sup>-1</sup>· min<sup>-1</sup> (MacDougall et al., 1991). En Puerto Rico no se ha documentado el VO<sub>2</sub>max en atletas semi-fondistas, sin embargo, en atletas de fondo en Puerto Rico se ha reportado un

promedio para hombres de  $79.7 \pm 3.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  y para mujeres de  $62.4 \pm 2.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Rivera et al., 1998), valores superiores a los que se observaron en el presente estudio tanto para hombres como para mujeres que se explica posiblemente por el evento específico para el cual entrenan y compiten.

La mayoría de los participantes expresaron mayor fatiga general en las etapas finales del protocolo de rampa de nueva creación en comparación con el protocolo Bruce en el que, minutos antes de detener la prueba, expresaron mayor fatiga en la extremidad inferior, específicamente en el área de los cuádriceps y pantorrillas. Por otro lado, la frecuencia cardíaca máxima y la percepción de esfuerzo en el punto máximo de la prueba con el protocolo de rampa de nueva creación fue mayor en comparación con el protocolo Bruce, representando una mayor demanda cardiovascular y mayor percepción de esfuerzo con el nuevo protocolo de rampa. Kirkeberg y colegas (2011) también observaron diferencias significativas en la frecuencia cardíaca máxima cuando compararon protocolos, siendo mayor en protocolos que requieren más tiempo, atribuyéndolo a cargas de trabajo mayores en protocolos con mayor duración. Sin embargo, en el presente estudio, el tiempo total de duración de la prueba fue menor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con protocolo Bruce. Este resultado posiblemente favorece el nuevo protocolo de rampa en comparación con el protocolo estandarizado de Bruce, ya que se alcanzaron respuestas fisiológicas máximas en un tiempo máximo más cercano a los 8-10 minutos recomendado para este tipo de prueba (Gibson, Wagner & Heyward, 2019; Lima et al., 2020).

Cuando Sperlich y colegas (2015) compararon cinco protocolos de pruebas de esfuerzo máximo en corredores de distancia entrenados, en el protocolo estandarizado se

observó una duración promedio de tiempo en minutos mayor en comparación a los protocolos individualizados. Los participantes reportaron la fatiga en la extremidad inferior del cuerpo como razón principal para detener la prueba en comparación con los protocolos individualizados que reportaron detenerse por fatiga a nivel central. Aunque en el presente estudio no se observó diferencia en el  $VO_{2max}$ , nuestros resultados sustentan el argumento de que protocolos de carga escalonada que duran más de 8-12 minutos pueden causar fatiga muscular prematura en la extremidad inferior (Gonzales Alonso y Calbet, 2003; Yoon et al., 2007).

En otro estudio con corredores, Hogg y colegas (2015) compararon tres diferentes protocolos de prueba de esfuerzo máximo: uno estandarizado, otro individualizado con incrementos en velocidad y otro individualizado con incrementos en inclinación. Los autores reportaron que no hubo diferencia significativa en el  $VO_{2max}$  entre el protocolo estandarizado ( $68.6 \pm 6.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) en comparación a un protocolo individualizado con incremento en velocidad ( $67.6 \pm 3.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), pero reportaron diferencia significativa ( $P = 0.009$ ) en comparación al protocolo individualizado con incremento en inclinación ( $70.6 \pm 4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Aunque en el presente estudio no se evaluaron protocolos individualizados con o sin incrementos en velocidad e inclinación, nuestros resultados en cierto modo coinciden en señalar ciertas limitaciones en protocolos estandarizados cuando se evalúan corredores. Nuestros hallazgos también coinciden con el estudio de Lima y colegas (2020), en donde compararon dos protocolos, uno escalonado y otro de rampa entre estudiantes de educación física y, aunque no encontraron diferencia significativa en el  $VO_{2max}$ , la velocidad máxima fue mayor con el protocolo de rampa.

McCole (2001) comparó dos protocolos en donde se alcanza inclinación de 8% vs. 14% y no encontró diferencia significativa en el  $VO_2\text{max}$ . Sin embargo, se ha sugerido que los protocolos con mayor inclinación pueden provocar mayor  $VO_2\text{max}$  por la sobre activación de la masa muscular en la extremidad inferior y mayor demanda de oxigenación a estas áreas (Sloniger et al, 1997). Kang y colegas (2001) no recomiendan protocolos con alto porcentaje de inclinación y menor velocidad en corredores ya que pueden ocasionar pérdida en la eficiencia de la carrera y desarrollar fatiga prematura particularmente en la extremidad inferior del cuerpo. Esto, nuevamente coincide con las expresiones de los corredores en el presente estudio, quienes indicaron que la razón principal para detenerse con el protocolo Bruce fue por dolor o fatiga en las piernas y no fatiga a nivel del central como expresaron con el protocolo de rampa de nueva creación, donde alcanzaron una mayor frecuencia cardíaca máxima y percepción de esfuerzo en comparación con el protocolo Bruce.

### **Umbral Ventilatorio: Consumo de Oxígeno ( $VO_2$ ), Frecuencia Cardíaca y Porcentaje (%) del Consumo Máximo de Oxígeno**

Siendo el  $VO_2$  en el umbral ventilatorio y el porcentaje del  $VO_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio similar entre el protocolo de rampa de nueva creación y el protocolo estandarizado de Bruce, con una diferencia baja y alto nivel de concordancia entre los dos protocolos, se sustenta que el protocolo de rampa de nueva creación es igualmente válido como el protocolo estandarizado de Bruce para identificar el punto de transición de metabolismo aeróbico a metabolismo anaeróbico en atletas corredores de semi-fondo. Aunque, igual que la frecuencia cardíaca máxima, la frecuencia cardíaca en el umbral ventilatorio fue mayor con el protocolo de rampa de nueva creación en comparación con

el protocolo estandarizado de Bruce (181 vs 177,  $P < 0.01$ ), el promedio de la diferencia fue de 3.4 latidos por minuto y la concordancia fue alta y significativa ( $\rho = 0.70$ ,  $P < 0.0001$ ) entre protocolos, lo que sugiere que el alcance de estos valores es similar entre protocolos. Este argumento también lo apoya la razón de intercambio respiratorio en el punto máximo de la prueba que fue similar entre los dos protocolos.

Son muy pocos los estudios que proveen información del porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio y mucho menos la comparación entre protocolos. El porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio en los atletas corredores semi-fondistas en el presente estudio se asemeja a los reportados en la literatura. Por ejemplo, Fernández y Ruíz (2013) evaluaron atletas corredores en España, quienes promediaron un porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio de  $87.1 \pm 5.6 \%$ . Smekal y colegas (2003) evaluaron corredores austriacos y reportaron un porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  en el umbral ventilatorio promedio de 87.7%. Chicharro (2004) sugiere que los atletas en eventos de fondo alcanzan el umbral ventilatorio entre un 80 – 90% del  $\text{VO}_2\text{max}$ . Los corredores en el presente estudio se encuentran dentro de los valores reportados en la literatura, promediando 89% con el protocolo Bruce y 90% con el protocolo de Rampa. Con el protocolo de rampa de nueva creación, las mujeres alcanzaron 92%. Esto sugiere una buena capacidad de sostener una alta intensidad en el rendimiento deportivo antes de que ocurra la transición de metabolismo aeróbico a uno anaeróbico, por lo tanto, retrasando el punto de fatiga.

### **Resumen y conclusión**

Aunque el protocolo de rampa de nueva creación aparenta una mayor intensidad con mayor frecuencia cardiaca y percepción del esfuerzo en comparación con el

protocolo estandarizado de Bruce, el  $VO_{2max}$ , el  $VO_2$  en el umbral ventilatorio y el porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio concuerdan significativamente entre los dos protocolos. Siendo el protocolo de rampa de nueva creación uno que requiere menor tiempo y muy poca inclinación para alcanzar el  $VO_{2max}$ , se entiende que es una mejor alternativa para evaluar parámetros fisiológicos que predicen el éxito en eventos de semi-fondo. Este nuevo protocolo se asemeja más al ambiente de competición de semi-fondo en una pista de atletismo donde se requiere una alta velocidad en una superficie plana.

### **Fortalezas, Limitaciones, Relevancia y Recomendaciones para Futuros Estudios**

Este es el primer estudio en Puerto Rico que compara las respuestas fisiológicas en atletas semi-fondistas y una de las primeras en documentar y comparar el porcentaje del  $VO_{2max}$  en el umbral ventilatorio en estos atletas utilizando dos protocolos de prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario. Aunque hubo instrucciones específicas a los participantes sobre limitar la ingesta de alimentos al menos dos horas antes de la prueba, reducir el volumen de entrenamiento e ingerir agua el día antes de la prueba y dormir lo suficiente la noche antes de cada prueba, el control sobre la cantidad y calidad de sueño y la intensidad de entrenamiento en días previos a cada una de las dos pruebas son aspectos que no se pudieron controlar en el estudio y que pueden afectar las respuestas fisiológicas durante estas pruebas. Sin embargo, las respuestas fisiológicas similares entre los dos protocolos de prueba sugieren que estos aspectos tuvieron mínima influencia en los resultados. Otra limitación fue una posible variación en la fase de preparación deportiva antes de la temporada y menor número de participantes mujeres en comparación con hombres. Además, el nivel de rendimiento deportivo no se pudo controlar. Nuevamente, las respuestas fisiológicas fueron similares entre las dos evaluaciones, por lo que la

posible variación por la fase de entrenamiento y el nivel de rendimiento deportivo no afectó la comparación entre protocolos. Es importante verificar con otros estudios las diferencias por sexo en las respuestas fisiológicas entre protocolos.

Los resultados de este estudio son altamente relevantes en ayudar a educar y concienciar sobre la importancia en la especificidad del protocolo de prueba de esfuerzo que se seleccione para evaluar las respuestas fisiológicas en atletas de semi-fondo. Los atletas, entrenadores y equipo de trabajo deben conocer los parámetros fisiológicos durante una prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario con la finalidad de mejorar la planificación y metodología del entrenamiento con estos atletas.

Futuras investigaciones comparando protocolos para la evaluación de las respuestas fisiológicas durante esfuerzo progresivo hasta el máximo, podrían controlar el nivel de preparación deportiva de atletas en los deportes específicos que se consideren. También se sugiere una participación equitativa por sexo que ayude a establecer mejores comparaciones entre hombres y mujeres, documentar hábitos de alimentación, hidratación y sueño para poder identificar diferencias que puedan afectar los resultados de las evaluaciones.

## Referencias

- Alajmi, A., Foster, R., Porcari, P., Radtke, J., Doberstein, K., (2020). Comparison of non-maximal tests for estimating exercise capacity. *Kinesiology*, 52 (1.), 10-18.
- Alvero-Cruza, J. R., Vico Guzmán, J. F., Medina, M., de Albornoz Gil, M. C., & García Romero, J. (2019). VO<sub>2</sub>máx de laboratorio versus Course Navette. Un estudio de concordancia en sujetos físicamente activos. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 12(3): 221-225
- American College of Sports Medicine (2021). ACSM'S Guidelines for Exercise Testing and Exercise Prescription (11<sup>th</sup> Ed.), Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins
- Astorino, T. A. (2008). CHANGES IN RUNNING ECONOMY, PERFORMANCE, VO<sub>2</sub> max, AND INJURY STATUS IN DISTANCE RUNNERS RUNNING DURING COMPETITIVE. *Journal of exercise physiology online*, 11(6).
- Åstrand, P. O., & Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of applied physiology*, 7(2), 218-221.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (1999). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.
- Bazán, N. & Colacilli, M. (2014). Test de Campo para Estimar Consumo de Oxígeno. *ISDe Sport Magazine – Revista de Entrenamiento*, 6(20).
- Billat, V. L., Hill, D. W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO<sub>2</sub> max and on its time to exhaustion. *Archives of physiology and biochemistry*, 104(3), 313-321.

- Bland, J. M., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*, 327(8476), 307-310.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2005). Human bioenergetics and its applications. *New York: McGraw-Hill*.
- Buchfuhrer, M. J., Hansen, J. E., Robinson, T. E., Sue, D. Y., Wasserman, K., & Whipp, B. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of applied physiology*, 55(5), 1558-1564.
- Buchheit, M., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., Quod, M. J., & Bourdon, P. C. (2011). Effect of maturation on hemodynamic and autonomic control recovery following maximal running exercise in highly trained young soccer players. *Frontiers in physiology*, 2, 12113.
- Calvalcante, C., Monteiro, W. & Veras, P. (2011). Ejercicio de evaluación de la capacidad máxima: una revisión de los protocolos tradicionales y la evolución de los modelos individualizados. *Revista Brasileña de Medicina Deportiva*, 17, 5. doi:10.1590
- Chicharro, J. L., Laín, A. S., Vaqueiro, A. F., Mojares, L. L., Mulas, A. L., & Ruiz, M. P. (2004). Transición aeróbica-anaeróbica: concepto, metodología de determinación y aplicaciones. *Madrid: Máster Line & Prodigio SL*. 69-216.
- Cuellar, L. V., & Kiss, M. A. P. D. M. (1992). PERFORMANCE, ATLETISMO, VO2MAX Y TIEMPO DE RESISTENCIA EN LA CINTA RODANTE DE ATLETAS DEL SEXO MASCULINO. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (2).

- Cunningham, L. N. (1990). Physiologic comparison of adolescent female and male cross-country runners. *Pediatric Exercise Science*, 2(4), 313-321.
- Czuba, M., Zajac, A., Cholewa, J., Poprzecki, S., Rocznik, R. (2010). Difference in Maximal Oxygen Uptake (VO<sub>2</sub>max) Determined by Incremental and Ramp Test. *Studies in Physical Culture and Tourism*. 17 (2): 123-127.
- Dabney, U., & Butler, M. S. (2007). The predictive ability of the YMCA test and Bruce test for triathletes with different training backgrounds. *Emporia State Research Studies*, 43(1), 38–44.
- De Hierro Laka, V. P., Arechaga, M. Á. U., González, L. A. B., & Azqueta, J. B. (2012). Consideraciones de la reproducibilidad de posición natural de la cabeza utilizando diferentes métodos. *Ortodoncia Española*, 52(3-4), 99-107.
- Doan, A. E., Peterson, D. R., Blackman, R. J., Bruce, R. A. (1965). Myocardial ischemia after maximal exercise in healthy men: a method for detecting potential coronary heart disease. *American Heart Journal*, 69, 11-21.
- Escalante, Y. (2011). Physical activity, exercise, and fitness in the public health field. *Rev Esp Salud Pública*, 85(4), 325-8.
- Fernández, L. S., & Ruíz, M. R. (2013). Valoración de la condición aeróbica del corredor de orientación a pie de alto nivel español. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 158, 359-364.
- Froelicher Jr, V., Brammell, H., Davis, G., Noguera, I., Stewart, A., & Lancaster, M. C. (1974). A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *Journal of applied physiology*, 36(6), 720-725.

- Gibson, A. & Wagner, D. & Heyward, V. (2019). *Advanced Fitness Assessment & Exercise Prescription* (8<sup>th</sup> Ed), Champaign, IL: Human Kinetics Publishers
- González-Alonso, J., & Calbet, J. A. (2003). Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*, *107*(6), 824-830.
- Herdy, A. H., & Uhlendorf, D. (2011). Reference values for cardiopulmonary exercise testing for sedentary and active men and women. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, *96*, 54-59.
- Hill, A. V., & Lupton, H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM: Quarterly Journal of Medicine*, (62), 135-171.
- Hogg, J. S., Hopker, J. G., & Mauger, A. R. (2015). The self-paced VO<sub>2</sub>max test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. *International journal of sports physiology and performance*, *10*(2), 172-177.
- Inostroza Hidalgo, M. S., Rivas Venegas, C. H., & Vergara Valenzuela, M. J. *Relación entre el nivel de actividad física y el motivo de fin de test de bruce en estudiantes entre 18 y 25 años pertenecientes a la Facultad de Medicina de la Universidad Católica de la Santísima Concepción durante el año 2016* (Doctoral dissertation, Universidad Católica de la Santísima Concepción).
- Kang, J., Chaloupka, E. C., Mastrangelo, M. A., Biren, G. B., & Robertson, R. J. (2001). Physiological comparisons among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *European journal of applied physiology*, *84*(4), 291-295.

- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.
- Kindermann, W., Schramm, M., & Keul, J. (1980). Aerobic performance diagnostics with different experimental settings. *International Journal of Sports Medicine*, 1(03), 110-114.
- Kirkeberg, J. M., Dalleck, L. C., Kamphoff, C. S., & Pettitt, R. W. (2011). Validity of 3 protocols for verifying VO<sub>2</sub>max. *International journal of sports medicine*, 266-270.
- Lang, J. J., Tremblay, M. S., Léger, L., Olds, T., & Tomkinson, G. R. (2018). International variability in 20 m shuttle run performance in children and youth: who are the fittest from a 50-country comparison? A systematic literature review with pooling of aggregate results. *British Journal of Sports Medicine*, 52(4), 276-276.
- Lima, T. B., Santos, T. M., Damasceno, V. de O., & Campos, E. Z. (2020). Graded and ramp protocols present similar results in apparently healthy subjects. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 22.
- Lin L. I. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 45, 255-268
- Lin L. I. (2000). A note on the concordance correlation coefficient. *Biometrics*. 56, 324-325.
- MacDougall, J. D., Wenger, H. A., & Green, H. J. (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete*. (2<sup>nd</sup> Ed), Champaign, IL: Human Kinetics Publishers

- Mahon A. D., & Vaccaro P. (1989) Ventilatory threshold and VO<sub>2</sub>max changes in children following endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(4):425-431.
- Mauger, A. R., & Sculthorpe, N. (2012). A new VO<sub>2</sub>max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *British journal of sports medicine*, 46(1), 59-63.
- McCole, S. D., Davis, A. M., & Fueger, P. T. (2001). Is there a disassociation of maximal oxygen consumption and maximal cardiac output?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(8), 1265-1269.
- Mitchell, J. H., & Blomquist, G. (1971). Maximal Oxygen Uptake. *The New England Journal of Medicine*. 284(18): 1018-1022.
- Myers, J., Buchanan, N., Walsh, D., Kraemer, M., McAuley, P., Hamilton-Wessler, M., & Froelicher, V. F. (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *Journal of the American College of Cardiology*, 17(6), 1334-1342.
- Padilla-Pérez, J., & Castillo-Hernández, M. (2011). Estimation of submaximal exercise stroke volume of mexican athletes supports peripheral adjustment in VO<sub>2</sub>Max. *Journal of Exercise Physiology Online*, 14(3).
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Mora-Rodriguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PloS one*, 11(9), e0163389.
- Pires, F. O., Lima-Silva, A. E., & Oliveira, F. R. (2005). Differences among variables of determination of ventilatory thresholds. *Braz J Kinanthrop Human Perfor*, 7, 20-28.

- Pollock, M. L., Bohannon, R. L., Cooper, K. H., Ayres, J. J., Ward, A., White, S. R., & Linnerud, A. C. (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *American heart journal*, 92(1), 39-46.
- Rius, J. (2017). Metodología y técnicas de atletismo (1<sup>st</sup> Ed), Diagonal, Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Rivera, M. A. (1986). The maximal aerobic capacity of adult puerto ricans. *Bol. Asoc. Méd. P. R.*, 427-30.
- Rivera, M. A., Lopategui, E., & Rivera Brown, A. (1992). Perfil antropométrico y fisiológico de atletas puertorriqueños especialistas en carreras pedestres de media y larga distancia. *Boletín de la Asociación Médica de Puerto Rico*, 84(3), 102-111.
- Rivera, M. A., Rivera-Brown, A. M., & Frontera, W. R. (1998). Health related physical fitness characteristics of elite Puerto Rican athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(3), 199-203.
- Saltin B., and Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake and athletes. *J Appl Physiol.* 23(3): 353-358.
- Sloniger, M. A., Cureton, K. J., Prior, B. M., & Evans, E. M. (1997). Anaerobic capacity and muscle activation during horizontal and uphill running. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 262-269.
- Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Pokan, R., Lang, K., Baron, R., Tschan, H., & Bachl, N. (2003). Respiratory gas exchange and lactate measures during competitive orienteering. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(4), 682-689.

- Sperlich, P. F., Holmberg, H. C., Reed, J. L., Zinner, C., Mester, J., & Sperlich, B. (2015). Individual versus Standardized Running Protocols in the Determination of VO<sub>2</sub>max. *Journal of sports science & medicine*, 14(2), 386–393.
- Steinach, M., & Gunga, H.-C. (2021). Chapter 3 - Exercise physiology. In H.-C. Gunga (Ed.), *Human Physiology in Extreme Environments (Second Edition)* (Second Edition, pp. 81–122). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815942-2.00003-1>
- Storm, C., Pettitt, R., Krynski, L., Jammick, N., Hein, C., Pettitt, C. (2018). Validity of a customized submaximal treadmill protocol for determining VO<sub>2</sub>max. *European Journal of Applied Physiology*. 118: 1781-1787.
- Tanaka, H., & Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance: a new form of cross-training?. *Sports medicine*, 25, 191-200.
- Vallejo, L., & Pedutti, M. A. (1992). PERFORMANCE, ATLETISMO, VO<sub>2</sub>MAX Y TIEMPO DE RESISTENCIA EN LA CINTA RODANTE DE ATLETAS DEL SEXO MASCULINO. UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL.
- Villelabetia, K., Buschmann, I., Vaquerizo, E., Castillo, J. & Mahillo, I. (2013). Bruce protocol: common errors in the evaluation of functional capacity and in exercise prescription in ischemic heart disease. *Revista rehabilitación*, 47, 21-23.  
doi:10.1016
- Yoon, B. K., Kravitz, L., & Robergs, R. (2007). V O<sub>2</sub>max, protocol duration, and the V O<sub>2</sub> plateau. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(7), 1186-1192.

Zoladz, J., Rademaker, A., & Sargeant, A. (1995). Non-linear relationship between O<sub>2</sub> uptake and power output at high intensities of exercise in humans. *The Journal of physiology*, 488(1), 211-217.

Zych, M., Stec K., Pilis A., Pilis W., Michalski C., Pilis K., Kosiński, D. (2017). Approaches to describe ventilatory threshold in professional sports. *Physical Activity Review*, (5), 113-123.

ANEJOS

Universidad de  
Puerto Rico

COMITÉ INSTITUCIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SERES HUMANOS  
EN LA INVESTIGACIÓN (CIPSHI)  
IRB 00000944  
cipshi.degi@upr.edu ~ http://graduados.uprrp.edu/cipshi

**AUTORIZACIÓN DEL PROTOCOLO**

**Número del protocolo:** 2122-115

**Título del protocolo:** Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas: Comparación de Protocolos

**Investigador:** Jesús F. Aponte Rodríguez

**Tipo de revisión:**  Inicial  Renovación

**Evaluación:**  Comité en pleno  Revisión expedita

**Fecha de la autorización:** 20 de octubre de 2022



Recinto de  
Rio Piedras

Además, el CIPSHI:

- Determinó que esta investigación implica riesgos mínimos y que cualifica para eventuales revisiones expeditas, siempre y cuando, no aumenten los riesgos. Además, cualifica para una autorización extendida o sin fecha límite.
- Concedió la **dispensa** solicitada para modificar el procedimiento estándar de toma de consentimiento informado.

*Cualquier modificación posterior a esta autorización requerirá la consideración y reautorización del CIPSHI. Además, debe notificar cualquier incidente adverso o no anticipado que implique a los sujetos o participantes. Al finalizar la investigación, envíe el formulario de Notificación de Terminación de Protocolo.*

Decanato de  
Estudios Graduados  
e Investigación

18 Ave. Universidad STE 1801  
San Juan PR 00925-2512

787-764-0000  
Ext. 86700  
Fax 787-763-6011

Página electrónica:  
<http://graduados.uprrp.edu>

  
Yarimar Rosa Rodríguez, Ph.D.  
Presidenta del CIPSHI o  
representante autorizado

## TE INVITAMOS A PARTICIPAR EN EL ESTUDIO:

Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas: Comparación de Protocolos

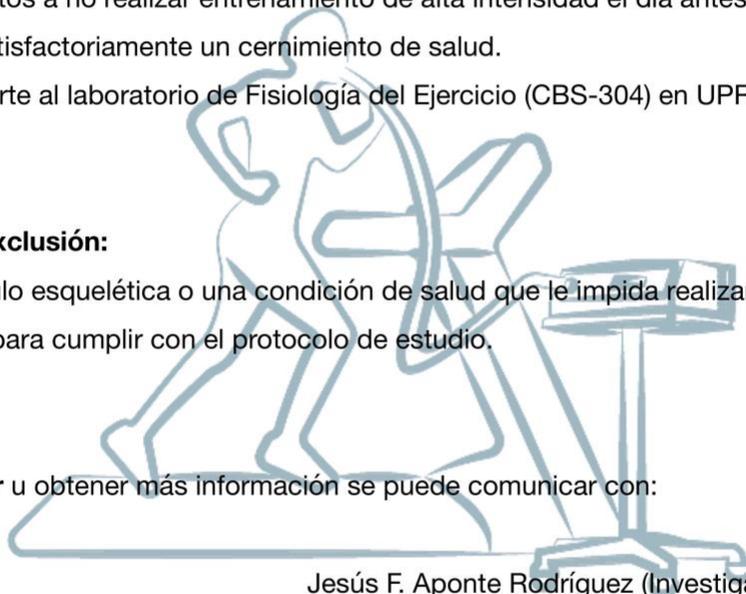
### Criterios de Inclusión:

- Tener entre 18 a 32 años.
- Llevar un mínimo de dos años compitiendo en eventos de semi-fondo.
- Estar dispuestos a no realizar entrenamiento de alta intensidad el día antes de la prueba.
- Completar satisfactoriamente un cernimiento de salud.
- Tener transporte al laboratorio de Fisiología del Ejercicio (CBS-304) en UPRRP.

### Criterios de Exclusión:

- Lesión musculo esquelética o una condición de salud que le impida realizar la prueba.
- Incapacidad para cumplir con el protocolo de estudio.

Para **participar** u obtener más información se puede comunicar con:



Jesús F. Aponte Rodríguez (Investigador Principal)

Correo electrónico: [jesus.aponte4@upr.edu](mailto:jesus.aponte4@upr.edu)

Teléfono: 939-207-9016

Todo participante recibirá un informe de su tolerancia cardiorrespiratoria y dos pruebas de VO<sub>2</sub>Max **libre de costo**.

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y RECREACIÓN  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO DE RÍO PIEDRAS

## HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

### Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas:

#### Comparación de Protocolos

##### **Descripción**

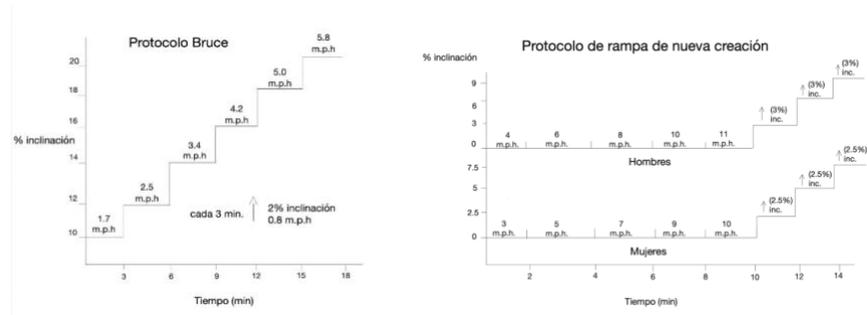
Se hace la invitación a participar en un estudio que tiene como propósito comparar dos protocolos de pruebas de consumo máximo de oxígeno ( $VO_2max$ ) y sus adaptaciones fisiológicas en atletas semi fondistas, fémimas o varones que participen en los eventos de 800 metros, 1,500 metros y 3,000 metros con obstáculos. Este estudio es realizado por Jesús Aponte Rodríguez, estudiante del programa de maestría en Ciencias del Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio en la Universidad de Puerto Rico Recinto de Río Piedras (UPRRP).

Los criterios para participar en esta investigación son los siguientes: (1) ser atleta semi-fondista y llevar al menos dos años realizando entrenamiento para competir en eventos locales, nacionales o internacionales como aficionado o profesional. (2) tener entre 18 – 32 años de edad. (3) tener transporte al laboratorio de Fisiología del Ejercicio en el Complejo Deportivo Cosme Beitía Sálamo (CBS) en la UPRRP. (4) Estar dispuestos y dispuestas a no realizar entrenamiento de alta intensidad el día antes de la prueba de esfuerzo. (5) Completar satisfactoriamente un cernimiento de salud. Se reclutarán 22 atletas semi-fondistas para realizar este estudio.

La participación de esta investigación es completamente voluntaria. De aceptar participar en el estudio se realizarán un mínimo de dos reuniones presenciales en el Laboratorio de Ciencias del Ejercicio de la UPRRP localizado en el edificio CBS. Las visitas tendrán un tiempo de duración aproximada a 60 minutos cada una.

Tolerancia cardiorrespiratoria: se determinará el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2max$ ) mediante una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en una trotadora. En este estudio se realizarán dos protocolos de prueba de esfuerzo máximo en días separados. El protocolo estandarizado Bruce comienza a una velocidad de 1.7 m.p.h. y una inclinación de 10% en su primera etapa y cada 3 minutos aumenta la velocidad 0.8 m.p.h. y la inclinación 2% hasta el máximo voluntario. El protocolo de nueva creación comienza a una velocidad de 4 m.p.h. los varones y 3 m.p.h. las mujeres hasta llegar a 11 m.p.h. y 10 m.p.h. respectivamente; en las últimas tres etapas la inclinación aumenta 3% para los varones y 2.5% para las fémimas. A continuación se presentan diagramas de los protocolos de pruebas de esfuerzo hasta máximo voluntario.

## Protocolos:



## Procedimiento del participante en la investigación

Luego de completar el proceso de reclutamiento, los participantes agendarán la primera visita con el investigador principal. El siguiente paso será completar y discutir el consentimiento informado en su totalidad. Se completará una hoja de información general, el cernimiento pre-participación de salud, se discutirán las medidas de seguridad y comenzarán a tomarse las medidas en reposo. Para determinar el peso en kilogramos se utilizará una balanza digital TANITA, la estatura se determinará con un estadiómetro de pared SECA, se utilizará un monitor de presión arterial OMRON para determinar la presión arterial en reposo y la frecuencia cardiaca en reposo. El investigador principal discutirá con el participante el procedimiento para determinar la percepción de esfuerzo que en este estudio se utilizará una tabla con una escala de los números entre 6-20 para la percepción de esfuerzo. Antes de comenzar con la fase de calentamiento se le colocará el monitor de frecuencia cardiaca marca Polar que incluye una banda elástica para el pecho y un reloj de muñeca para determinar la frecuencia cardiaca en ejercicio y se escogerá el tamaño adecuado de la mascarilla de recolección de gases adecuado al tamaño y dimensión del rostro de los participantes. Luego de que el participante realice el calentamiento se va a elegir el protocolo de manera aleatorizada y se dará inicio la prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario. Luego el participante realizará la fase de recuperación o “cool down” y se agendará la segunda visita en un periodo de 10 días.

En la segunda visita los participantes se tomarán las medidas en reposo de peso, presión arterial y frecuencia cardiaca. Se realizará el segundo protocolo de prueba de esfuerzo hasta máximo voluntario con el mismo procedimiento que en la primera visita. Al finalizar el proceso de recolección de datos, el investigador principal se estará comunicando con el participante para hacerle entrega de su informe de aptitud cardiorrespiratoria.

Los riesgos y beneficios en una prueba de esfuerzo máximo no son mayores a los experimentados por los atletas semi-fondistas en sus entrenamientos y competencias. Los posibles riesgos de éstas pruebas son respuestas anormales en la presión arterial, cambios anormales en la frecuencia cardiaca y una caída o lesión mientras se utiliza la trotadora. El

personal que administrará la prueba tomará todas las medidas preventivas y va a monitorear todos los signos y síntomas antes, durante y después de la intervención con el fin de reducir los riesgos. En caso de una emergencia, el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio cuenta un teléfono de emergencia con conexión directa a la División de Seguridad y Manejo de Riesgo.

Como beneficio de participar de esta investigación los participantes recibirán un informe de su tolerancia cardiorrespiratoria, que le podrá ayudar en la preparación de sus entrenamientos. El investigador principal se contactará con el participante para la entrega del mismo.

Es posible que pueda sentir incomodidad al momento de contestar alguna premisa del cuestionario, para minimizar este potencial de riesgo, puede abstenerse de responder alguna pregunta en específico y/o abandonar la investigación sin ninguna penalidad. Reiteramos que para ser un participante elegible en este estudio debe contestar todas las preguntas del cuestionario de cernimiento relacionadas con la salud y en caso de que no desee puede retirarse del estudio sin penalidad alguna.

### **Confidencialidad**

Su identidad será protegida en todo momento ya que su información personal se mantendrá en una carpeta en un archivo bajo llave y solo tendrán acceso a los datos crudos y la hoja de consentimiento: (a) el investigador principal, (b) la directora de tesis, (c) un miembro del comité de tesis. La información que pueda identificarle de manera directa o indirecta serán manejadas de forma confidencial, ya que se le asignará un número de participante exclusivo del estudio con el que se identificarán todos los documentos. Los documentos impresos del estudio como la hoja de consentimiento informado se conservarán por un periodo de tres años luego de terminar la recolección de datos y presentar la investigación. Estos se almacenarán en una carpeta en un archivo bajo llave en el área de fisiología del ejercicio en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras. Luego serán triturados antes de desecharse. Las fotografías y videos de los participantes se borrarán debidamente de todas las plataformas digitales. La información digital proveniente de la recolección de datos sin identificadores personales se mantendrá indefinidamente para futuros análisis y publicaciones.

### **Derechos**

La participación es totalmente voluntaria, por lo que tiene derecho a abstenerse de participar o retirarse de la investigación en cualquier momento sin penalidad alguna. También tiene derecho a no completar o contestar alguna pregunta durante el proceso del estudio sin presentar algún motivo o razón. Usted tiene derecho a recibir esta hoja de consentimiento informado. La recibirá en papel o por correo electrónico.

Cualquier pregunta, duda o si desea más información sobre el estudio, se puede comunicar con el investigador principal Jesús F. Aponte Rodríguez al teléfono 939-207-9016 o por correo

electrónico a la dirección [jesus.aponte4@upr.edu](mailto:jesus.aponte4@upr.edu) o con la directora de tesis la Dra. Farah A. Ramírez Marrero al 787-764-0000 ext. 89129 o al correo electrónico [farah.ramirez1@upr.edu](mailto:farah.ramirez1@upr.edu).

De tener alguna pregunta o reclamación del estudio, se puede comunicar con la Oficial de cumplimiento del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico al teléfono 787-764-0000, ext. 86773 o a [cipshi.degi@upr.edu](mailto:cipshi.degi@upr.edu).

Se utilizarán las fotos y videos para presentarlos en la defensa de tesis y futuras presentaciones o conferencias de la investigación. Se cubrirá el rostro del participante para mantener la privacidad.

\_\_\_\_\_ Acepto

\_\_\_\_\_ No acepto

Su firma en este documento significa que decidió participar en la investigación después de leer y discutir la información presentada en la hoja de consentimiento y que recibió copia de este documento.

_____	_____	_____
Nombre del participante	Firma	Fecha

Se discutió el contenido de la hoja de consentimiento informado con el sujeto voluntario para participar en el estudio.

_____	_____	_____
Nombre del investigador	Firma	Fecha

Apéndice C

#ID del estudio: \_\_\_\_\_

**Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas:  
Comparación de Protocolos**

**Cuestionario de Información General**

Apellidos: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_ Inicial: \_\_\_\_\_

Sexo: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Fecha de Nacimiento: \_\_\_\_\_

Número de Teléfono: \_\_\_\_-\_\_\_\_-\_\_\_\_ Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Dirección Postal: \_\_\_\_\_

Dirección Física: \_\_\_\_\_

Contacto de emergencia: \_\_\_\_\_

Nombre

Teléfono

Contacto de emergencia: \_\_\_\_\_

Nombre

Teléfono

¿Cuánto tiempo lleva entrenando para el deporte de atletismo?

\_\_\_\_\_

¿En qué eventos de atletismo participa?

\_\_\_\_\_

¿En qué evento se especifica en el atletismo?

\_\_\_\_\_

¿Cuáles son sus marcas personales en cada evento?

\_\_\_\_\_

¿Alguna vez ha realizado una prueba de esfuerzo máximo medida directamente en un laboratorio?

\_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

## Anejo E

### Cuestionario de Cernimiento Pre-participación Comparación de protocolos de $VO_{2max}$ y respuestas fisiológicas en atletas semi-fondistas

Nombre de  
participante:

Fecha:

Determine sus necesidades de salud marcando las opciones que mejor describen su condición

#### Historial

¿Alguna vez ha tenido:

- un ataque o fallo cardiaco
- cirugía o trasplante en el corazón
- angioplastia coronaria
- marcapasos/desfibrilador cardiaco implantable/  
disturbios en el ritmo cardiaco
- enfermedad de las válvulas del corazón
- enfermedad cardiaca congénita

*Si ha marcado cualquiera de las opciones de esta sección, tiene que consultar a su médico antes de participar en este estudio o continuar. Puede que necesite ir a un lugar donde haya **personal médico calificado**.*

#### Síntomas

- Siente molestias en el pecho cuando realiza esfuerzos físicos
- Le cuesta respirar sin razón alguna
- Se marea, se desmaya o se siente desorientado
- Toma medicinas para el corazón

Otros aspectos de la salud:

- Tiene problemas músculo esqueléticos
- Le preocupa la seguridad del ejercicio a realizar
- Toma medicinas que le ha prescrito el médico
- Está embarazada

#### Factores de riesgo cardiovasculares

- Es un hombre mayor de 45 años.
- Es una mujer mayor de 55 años o ha tenido una histerectomía o es postmenopáusica.
- Fuma.
- Su presión arterial es mayor de 140/90.
- Desconoce su presión arterial.
- Toma medicinas para la presión arterial.
- Su nivel de colesterol es mayor de 240 mg/dl.
- Desconoce su nivel de colesterol.
- Tiene un familiar muy cercano que ha tenido un ataque cardiaco antes de los 55 años (papá o hermano) o de los 65 años (mamá o hermana).
- Es diabético o toma medicinas para controlar sus niveles de azúcar en la sangre.
- Es usted una persona sedentaria (no realiza al menos 30 minutos de actividad física al menos 3 días a la semana).
- Tiene más de 20 libras de sobrepeso.

*Si ha marcado dos o más de las opciones de esta sección, debería consultar a su médico antes de continuar entrenando o participar en este estudio.*

Ninguna opción anterior es válida

*Usted puede realizar ejercicio de manera segura sin tener que consultar a un médico en cualquier instalación deportiva que cumpla con las necesidades de su programa de ejercicios.*

Recomendaciones para el Monitoreo Cardiovascular, las Políticas de Selección de Personal y Procedimientos de Emergencias en las Instalaciones Deportivas y Gimnasios © 1998 American College of Sports Medicine (MSSE, 30:6, 1998, pp. 1009-1018)  
Esta información fue recuperada del Centro de Evaluación de la Aptitud Física y el Rendimiento Deportivo (CEAFIR) del programa graduado en Ciencias del Ejercicio de la Facultad de Educación en la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras.

## **Resumen Biográfico del Autor**

### **Jesús Fernando Aponte Rodríguez**

Nació en Guayama, P.R. Vivió en Juncos donde se graduó de la escuela superior José Collazo Colón en mayo del año 2014. Ese mismo año ingreso a la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras como estudiante-atleta de pista y campo. En el año 2019 se graduó con honores de Bachillerato en Artes de la Recreación de la Facultad de Educación en la UPRRP y comenzó ese mismo año sus estudios post grado. En mayo del 2024, obtuvo su grado de Maestría en Ciencias del Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio en la Facultad de Educación en la UPRRP, presentando su proyecto de investigación: Respuestas Fisiológicas en Pruebas de Esfuerzo Máximo en Atletas Semi-fondistas: Comparación entre Protocolos.