



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Licenciatura en Educación Física

Tesina

**Caracterización y comparación de variables fisiológicas
cardiorrespiratorias durante dos rutas de diferente dificultad en
escalada *boulder***

Autores:

Sofía BARRIOLA

Juan Manuel CASAIS

Manuela LEV

Profesor tutor:

Carlos MAGALLANES

Co-tutor:

Andrés PARODI

**Línea de investigación: Actividad física, aptitud física, salud y rendimiento
deportivo**

Montevideo, julio de 2025

AGRADECIMIENTOS

Poder expresar en palabras todo el esfuerzo realizado para el presente trabajo no es tarea sencilla. Se culmina un proceso exigente y el cierre de una etapa especial para nosotros/as dando paso a la apertura de una nueva como profesionales por esto nos queda agradecer a:

La familia por su apoyo en cada paso de este proceso, sin ellos no podría haber sido posible este trabajo.

A los/as escaladores/as por formar parte de este estudio, compartir sus vivencias, experiencias en el deporte y ayudarnos a contribuir en el desarrollo y crecimiento de la escalada en nuestro país.

A nuestros tutores Carlos Magallanes y Andrés Parodi por guiarnos y acompañarnos en la elaboración de nuestro trabajo.

Al Montevideo Boulder Club por abrirnos las puertas, por hacernos sentir como en casa y estar a disposición para el grupo de investigación.

Y por último, a nuestros amigos por acompañarnos siempre, y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera formaron parte de este logro, gracias.

RESUMEN

Introducción y problema de investigación. La escalada deportiva es un deporte olímpico que ha experimentado un importante crecimiento, tanto a nivel global como en Uruguay. A pesar de su creciente popularidad, la evidencia científica disponible sobre variables fisiológicas en distintos niveles de dificultad dentro de la modalidad *boulder* continúa siendo relativamente escasa. Asimismo, no se han identificado estudios previos realizados en dicho país. **Objetivos.** El propósito del presente estudio fue caracterizar y comparar, en practicantes de ambos sexos de Uruguay, las respuestas fisiológicas cardiorrespiratorias acaecidas durante el esfuerzo de escalada, en los niveles V1 y V3 de la modalidad *boulder*. **Reseña metodológica.** Se empleó un diseño cuantitativo, de tipo transversal descriptivo. Catorce escaladores amateurs (6 mujeres, 8 hombres; edad = 32.8 ± 6.2 años; experiencia de escalada = 5.6 ± 5.2 años) realizaron un test progresivo maximal en cicloergómetro, para determinar los valores de VO_2 , frecuencia cardíaca (FC) y volumen minuto respiratorio picos, así como los umbrales VT1 y VT2. En días posteriores, los sujetos realizaron dos esfuerzos de escalada modalidad *boulder*, de niveles V1 y V3, con una duración de cuatro minutos cada uno e intercalados por una pausa de 20 minutos. Mediante ergoespirometría portátil y sensor de FC, se determinó para cada ruta los valores de VO_2 , FC y volumen minuto respiratorio picos. Adicionalmente, luego de cada esfuerzo se les preguntó a los sujetos la sensación de esfuerzo percibida en términos de disnea y fatiga muscular para sendos bloques, utilizando escala de Borg modificada. La comparación entre niveles para las variables continuas se realizó mediante ANOVA de medidas repetidas; mientras que para la sensación de esfuerzo se utilizó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. **Resultados.** Respecto al VO_2 y la ventilación minuto, se observó una diferencia significativa entre el resultado maximal y la modalidad V1 ($p < 0.001$) y la modalidad V3 ($p = 0.015$ y $p < 0.001$ para VO_2 y ventilación respectivamente). No se observaron diferencias entre V1 y V3 ($p = 0.2$ y $p = 1.0$ para VO_2 y ventilación respectivamente). En lo que atañe a FC, las diferencias en ningún caso alcanzaron significancia ($p > 0.05$); si bien los valores maximales fueron superiores en comparación con V1 (95.7%) y V3 (97%). En lo que atañe al VO_2 relativo diferenciado por minuto de esfuerzo, en ambas modalidades los valores promedio en el primer minuto estuvieron por debajo del VT1. Para V1, el promedio de los minutos 2 y 3 se encontró en la zona interumbral; mientras que el

promedio del minuto 4 coincidió con el VT2 (81% del VO₂ pico maximal). En V3, el promedio del minuto 2 se observó en la zona interumbral, mientras que el promedio del minuto 3 coincidió con el VT2. Este último fue luego superado en el minuto 4, alcanzando el 88% del VO₂ pico maximal. **Conclusiones.** La marcada disociación observada entre la FC y el VO₂, indican que en esta disciplina la FC por sí sola no constituiría un indicador fiable de la carga de esfuerzo, siendo recomendable complementar su monitoreo con otras herramientas. Asimismo, se destaca una contribución significativa del metabolismo energético glucolítico no dependiente de oxígeno, subrayando la necesidad de incluir estrategias orientadas a su desarrollo y optimización.

PALABRAS CLAVE

Escalada *boulder*, Escalada deportiva, Metabolismo aeróbico, Umbrales ventilatorios

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	6
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	9
Graduación utilizada en el Gimnasio Montevideo Boulder Club.....	12
Evaluación de los aspectos fisiológicos de la escalada deportiva.....	14
RESEÑA METODOLÓGICA.....	15
Diseño experimental.....	16
Sujetos.....	16
Procedimientos.....	17
Evaluaciones de laboratorio.....	17
Evaluaciones de campo.....	18
Análisis estadístico.....	20
RESULTADOS.....	20
DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	31
LISTA DE REFERENCIAS.....	33
ANEXOS.....	37
Anexo 1.....	37
Anexo 2.....	41

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de la unidad curricular Seminario de Tesina de la Licenciatura en Educación Física (ISEF, Udelar), y se enmarca dentro de la línea de Investigación en Actividad Física, Aptitud Física, Salud y Rendimiento Deportivo. En el mismo, se realizó un estudio descriptivo y comparativo de variables fisiológicas vinculadas al metabolismo aeróbico en el deporte de escalada deportiva, y particularmente en dos niveles de la modalidad *boulder*.

La escalada deportiva, incluida por primera vez como deporte olímpico en los juegos de Tokio 2020, ha experimentado un importante crecimiento a nivel global en los últimos años. De hecho, la Federación Internacional de Escalada Deportiva (*International Federation of Sport Climbing* [IFSC], 2020) estima que para el año 2019 al menos 140 países contaban con paredes adaptadas para la práctica de este deporte, incluyendo a más de 44.5 millones de practicantes en todo el mundo en sus modalidades *indoor* y *outdoor*. Con la mencionada incorporación y consolidación de esta disciplina en los juegos olímpicos, es esperable que estas cifras se hayan incrementado aún más. En lo que respecta a Uruguay, si bien no hay cifras oficiales de practicantes, existen al menos seis gimnasios dedicados a su enseñanza y competencia, de los cuales tres se encuentran en Montevideo y tres en el interior del país (Asociación Uruguay de Escalada [AUDE], 2025). Sin embargo, y a pesar de su creciente popularidad, son relativamente escasos los trabajos científicos que han estudiado y comparado variables fisiológicas vinculadas al rendimiento en distintos niveles de dificultad de la modalidad *boulder*. Asimismo, hasta donde llega el conocimiento de los autores no hay antecedentes realizados en Uruguay.

El propósito del presente estudio fue caracterizar y comparar respuestas fisiológicas cardiorrespiratorias de dos rutas de escalada *boulder* de diferente dificultad, en particular V1 y V3. Los resultados obtenidos podrían representar un aporte novedoso, ayudando a determinar y diferenciar las demandas fisiológicas acaecidas durante el esfuerzo en ambas modalidades. En este sentido, podría representar un insumo potencialmente beneficioso para escaladores, entrenadores e investigadores en el área, en su búsqueda de estrategias que optimicen los procesos de entrenamiento y rendimiento en este deporte.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dentro del campo de la Educación Física, el deporte se establece como un pilar fundamental. En este sentido, cobran particular relevancia práctica aquellos aspectos de la fisiología del esfuerzo, cuyo conocimiento y desarrollo permita alcanzar y consolidar niveles óptimos de rendimiento deportivo.

En lo que atañe al deporte de escalada, y dentro de ésta la modalidad *boulder* con sus diferentes niveles, las características del esfuerzo solicitado (que involucra la contracción simultánea de grandes grupos musculares, en forma continua y durante un período de tiempo de varios minutos) hacen que la capacidad aeróbica se constituya como un determinante fundamental para el logro de la máxima *performance* (Callender et al., 2021). En este sentido, se ha registrado para esta modalidad un componente aeróbico significativo ($\approx 75\%$ del VO_2 máx) y demandantes respuestas cardiovasculares y respiratorias durante el esfuerzo, que persisten incluso varios minutos durante la recuperación (Mermier et al., 1997).

En Uruguay, la escalada deportiva, incluyendo su modalidad *boulder*, puede considerarse un deporte emergente en comparación con otros deportes más tradicionales y populares practicados en ese país, como el fútbol o el básquetbol. De hecho, no fue sino hasta el año 1998 cuando se fundó el primer gimnasio adaptado para este deporte, dentro de las instalaciones de la Asociación Cristiana de Jóvenes de la ciudad de Montevideo. Desde entonces, ha experimentado un notable y sostenido crecimiento a nivel local (AUDE, 2025).

Sin embargo, y a pesar de su creciente difusión, hasta donde llega el conocimiento de los autores de este trabajo, no existen trabajos publicados que hayan estudiado a nivel nacional las respuestas fisiológicas y subjetivas agudas acaecidas durante el esfuerzo de escalada. Si bien a este respecto existen antecedentes a nivel internacional (de Moraes Bertuzzi et al., 2007; Sheel et al., 2003), son relativamente pocos los estudios que se han centrado en la modalidad *boulder*. Adicionalmente, dichos datos no pueden ser directamente extrapolados al contexto uruguayo, ya que factores como el perfil de los escaladores y escaladoras, el diseño de los muros, y las características de la práctica local podrían influir en la respuesta fisiológica al esfuerzo.

Además, no se han identificado estudios previos que comparen variables como el VO_2 , la frecuencia cardíaca (FC), la frecuencia respiratoria y la percepción

subjetiva del esfuerzo (RPE) entre rutas de diferente dificultad, como las de grado V1 y V3, ampliamente utilizadas en los gimnasios de escalada en dicho país. Esta ausencia de información limita la toma de decisiones en relación a la programación de entrenamientos, la evaluación de progresiones adecuadas y la prevención de sobrecargas en los y las deportistas.

En este sentido, el presente estudio pretende ser un aporte en la búsqueda por rellenar un vacío de conocimiento en el contexto local, validando (o no) la pertinencia de los datos obtenidos en el ámbito internacional; permitiendo además caracterizar la carga fisiológica y concomitantemente el diseño de entrenamientos basados en evidencia.

OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar y comparar variables fisiológicas relacionadas al sistema cardiovascular y respiratorio, en dos rutas de diferente nivel de dificultad (V1 y V3) de la escalada deportiva en su modalidad *boulder*.

Objetivos específicos

- a) Determinar, mediante un test de esfuerzo incremental realizado en laboratorio, los umbrales VT1 y VT2, así como los valores máximos de VO₂, FC y ventilación minuto de cada deportista.
- b) Determinar, para V1 y V3, las variables de i) VO₂ relativo pico; ii) FC pico; y iii) ventilación minuto pico.
- c) Categorizar los valores obtenidos en b), según el modelo trifásico de Skinner y McLellan.
- d) **Analizar las diferencias en las respuestas fisiológicas** entre los niveles de dificultad V1 y V3, a fin de identificar posibles variaciones en la exigencia cardiovascular y respiratoria.

Se estableció como objetivo secundario, la determinación de la percepción de esfuerzo (*Rate of Perceived Exertion*, RPE) correspondiente al total de la ruta, así como su posible diferencia según el nivel considerado.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La escalada como deporte

El término *deporte* ha sido abordado desde múltiples acepciones a lo largo del tiempo. No obstante, existe un cierto consenso en torno a la competencia y la institucionalización como elementos distintivos fundamentales que permiten diferenciarlo de otras formas de actividad motriz. En esta línea, Parlebas (1988), citado por Hellín-Gómez (2008, p. 19), define el deporte como un “conjunto de situaciones motrices codificadas bajo forma de competición e institucionalizadas”. Podemos decir, en acuerdo y referencia a dicho autor que

En el deporte se da ejercitación física de carácter lúdico (juego) y agonístico

(competición, lucha, esfuerzo), la institucionalización hace que no se confunda con otros juegos que no son deporte. El nivel de presencia de estas características nos va a permitir diferenciar el término deporte de las actividades físicas y las actividades deportivas recreativas (p. 19).

Particularmente en lo que atañe al deporte de la escalada, en referencia a Melano (2022) “se denomina escalada a la progresión de ascender utilizando las manos y los pies, por un muro artificial o natural. Dependiendo del tipo de dispositivos utilizados para su protección varía la denominación” (p.1). En relación a los diferentes tipos de escalada, y tomando como referencia la clasificación del autor mencionado, podemos encontrar: escalada clásica, dificultad, *boulder*, velocidad o free solo, siendo esta última la más arriesgada en relación a la integridad física, ya que no cuenta con ningún tipo de dispositivo de seguridad a la hora de practicarlo.

En el presente trabajo, el foco de análisis se centra en la práctica de la escalada en su modalidad de deporte competitivo. Como se ha mencionado previamente, al tratarse de una disciplina deportiva, se encuentra reglamentada y avalada por una entidad internacional específica: la *International Federation of Sport Climbing* (IFSC). Esta federación reconoce oficialmente tres disciplinas competitivas a nivel mundial: escalada de dificultad, escalada de velocidad y *boulder*. El estudio aquí desarrollado se focaliza en esta última modalidad. Cabe señalar que estas tres disciplinas fueron incluidas por primera vez en el programa olímpico durante los Juegos Olímpicos de Tokio 2020, y continúan integrando la grilla de competencias en los Juegos Olímpicos de París 2024, aunque con algunas modificaciones en su formato. En el contexto profesional, las competencias de escalada deportiva se desarrollan exclusivamente en muros artificiales diseñados específicamente para tal fin.

En referencia particular a la modalidad *boulder*, la misma consiste en escalar bloques de roca (exterior) o paredes artificiales (interior), de una altura máxima de cuatro metros, sin la necesidad de materiales de protección (por el uso de elementos acolchados que reciben al deportista con seguridad en caso de caída) y en la que el foco está puesto en completar en forma explosiva rutas (también denominadas *problemas*) de determinada dificultad durante trayectos muy cortos. Se considera ganador a aquel deportista que logre resolver la mayor cantidad de problemas en el menor número de intentos (IFSC, 2025). El hecho de que se establezca un tiempo

limitado para la realización de cada ruta agrega un elemento de complejidad al esfuerzo realizado.

En los Juegos Olímpicos de París 2024 se realizaron sendas competencias para hombres y mujeres bajo esta modalidad, diferenciadas en dificultad según el sexo. Las mismas contaron con dos etapas: semifinal y final. En la primera instancia los y las deportistas se enfrentaban a cuatro bloques (*boulders*), cada uno de los cuales debía resolverse en cinco minutos. Luego tenían el mismo tiempo de descanso para volver a intentar el siguiente, hasta completar así los cuatro problemas. En el caso de la final el tiempo se modificó a cuatro minutos, sin cambiar la cantidad de *boulder* a realizar. Si el tiempo culminaba cuando él o la deportista estaba realizando su intento, el mismo no se consideraba como válido.

Graduación de dificultad en la escalada boulder

En la escalada *boulder* realizada en gimnasio de interior (*indoor*), previo a la ejecución de la ruta es necesario diseñar bloques que representen una determinada dificultad. Estos niveles son una guía para los escaladores, permitiéndoles evaluar su habilidad y nivel de progreso en este deporte.

Los encargados de diseñar estos bloques son llamados *setteadores* (o *routesetters*), quienes los construyen a partir de diferentes secuencias de movimientos en función de la dificultad que se busca generar. Los mismos requieren de una combinación de habilidades creativas, técnicas y físicas para establecer el diseño de rutas de calidad para las diferentes dificultades definidas en el gimnasio de escalada. En el caso particular del gimnasio (rocódromo) en el que se llevó adelante el presente estudio, la dificultad se establece por el consenso del grupo de *setteadores* (aperturistas). En este contexto, es fundamental respetar una progresión en la dificultad de los movimientos, lo que implica considerar tanto las capacidades condicionales (entre ellas la capacidad aeróbica) como coordinativa de los escaladores (Burba, 2022).

El sistema de graduación utilizado para el *boulder* se denomina *sistema hueco* (en referencia a Hueco Tanks, famoso sitio de escalada en Texas, EE.UU.), el cual presenta características distintivas en comparación con el de los sistemas empleados en otras disciplinas. Este sistema utiliza como representación de la dificultad la letra V (en alusión a su creador, el escalador estadounidense John Sherman, apodado *The*

Verm) seguida de un número, comenzando en V0 (para la ruta más fácil) y aumentando secuencial y linealmente según la dificultad con las categorías V1, V2, V3, y así sucesivamente. Si bien no existe un límite máximo teórico para categorizar el grado de dificultad, en la actualidad el grado más alto alcanzado es el V17, que resulta extremadamente complejo y exigente (IFSC, 2025).

Medir la dificultad en la escalada puede ser un desafío en sí mismo. A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes sistemas de graduación para ayudar a entender y comparar la dificultad de las rutas. Estos sistemas se basan en varios factores, como la inclinación de la pared, el tipo de agarres disponibles (el cual determina lo técnico) y la exposición al riesgo. En el caso de la modalidad *boulder*, ésta plantea desafíos a resolver, por lo que es fundamental conocer la graduación de dificultad para determinar si están al alcance o no de quien lo practica. Los escaladores asignan estas graduaciones considerando diversos factores, principalmente la dificultad técnica.

A su vez, cada modalidad de escalada cuenta con su propio sistema de graduación, y en determinados casos, distintas regiones o países han desarrollado escalas particulares basadas en criterios específicos. Esta heterogeneidad en los sistemas de clasificación dificulta en ocasiones la comparación directa entre modalidades o contextos geográficos. Asimismo, constituye una limitación metodológica al momento de contrastar resultados provenientes de estudios científicos que emplean sistemas de graduación disímiles para categorizar los niveles de dificultad.

Graduación utilizada en el Gimnasio Montevideo Boulder Club

El presente estudio fue llevado adelante en las instalaciones del Montevideo Boulder Club (MBC), el cual constituye actualmente el único gimnasio de escalada *indoor* dedicado exclusivamente a esta modalidad en Uruguay. En el mismo, el sistema utilizado para la categorización de las diferentes dificultades de rutas es el mencionado sistema hueco. Los *boulder* se arman con presas que responden a un mismo color y tipo de agarre, en referencia a la superficie de contacto de la mano, así como a la posición de la misma. La dificultad de la ruta es marcada con cintas de colores que la representan (Figura 1).

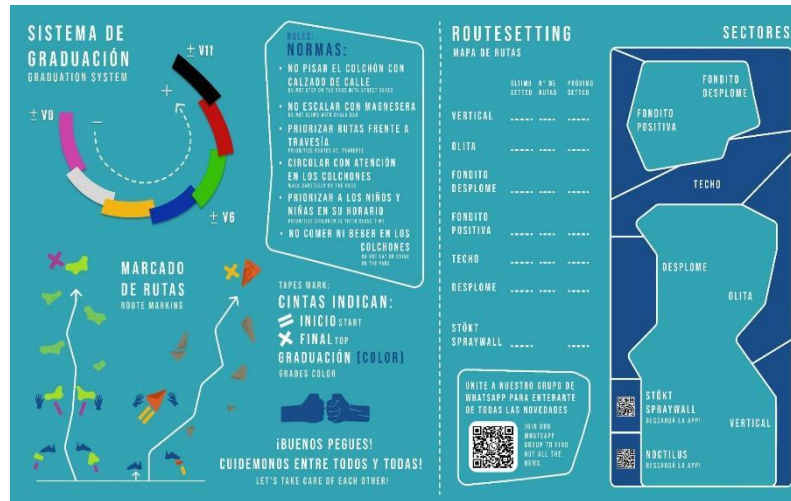


Figura 1. Esquema representativo del sistema de graduación particular del Montevideo Boulder Club, donde se indican las características de las rutas y plano de las instalaciones.

El presente estudio se ejecutó en una pared interactiva, en la cual un software denominado *Noctilus* (Lanita) permite mediante una aplicación el encendido de luces led asociadas a las presas correspondientes a la ruta seleccionada; indicando además el tipo de apoyo a utilizar. A su vez, se colocan cintas únicamente al comienzo de la ruta, para marcar los apoyos iniciales que el escalador debe seguir. De esta forma, se establece el grado de dificultad deseado (Figura 2).



Figura 2. Pared utilizada para la realización del presente estudio. Las luces

encendidas asociadas a determinadas rocas orientan al escalador en el trayecto a seguir, determinando la dificultad de la ruta seleccionada.

Evaluación de los aspectos fisiológicos de la escalada deportiva

Sin dejar de reconocer la importante contribución de las vías energéticas no dependientes del oxígeno, la escalada deportiva ha sido tradicionalmente considerada como un deporte de resistencia aeróbica (Gómez et al., 2017). En el presente apartado, se presentan las características fisiológicas del esfuerzo de escalada y su evaluación, particularmente en lo que atañe a la demanda cardiovascular y respiratoria.

La escalada deportiva, y dentro de ella la modalidad *boulder*, se considera altamente demandante desde un punto de vista del gasto energético (Callender et al., 2021). En relación a esto, los sistemas destinados a la producción de energía metabólica, varían dependiendo de la modalidad, intensidad y duración del esfuerzo realizado, además de otras variables como el sexo, edad y estado físico del deportista (McArdle et al., 2015, p. 162). Tradicionalmente se consideran tres sistemas energéticos: anaeróbico (o no dependiente del oxígeno) aláctico, anaeróbico láctico y aeróbico. En el primero, los depósitos intramusculares de ATP y fosfocreatina (sistema de energía inmediato) aportan energía para actividad física intensa de corta duración (por ejemplo una carrera de velocidad de 100 metros llanos); para esfuerzos con un nivel inferior de intensidad y mayor duración (1-2 minutos), el segundo sistema genera predominancia en relación al aporte de energía; por último el sistema aeróbico (de larga duración) predomina conforme progresa el ejercicio físico, caracterizado por una intensidad que permite mantener el esfuerzo por un tiempo prolongado (superior a los tres minutos) (McArdle et al., 2015).

En el presente estudio, la vía predominante para la obtención de energía fue estimada a partir del análisis de los gases respiratorios mediante un sistema de ergoespirometría portátil, además de la monitorización de la frecuencia cardíaca (FC). Como afirma Berenguel Senén (2024) “la ergoespirometría es una prueba de esfuerzo cardiopulmonar realizada con una mascarilla acoplada a la boca y la nariz”. Esto significa que los gases (oxígeno y dióxido de carbono) que intercambia el sujeto en la prueba son analizados, permitiendo “medir al instante cómo se comporta el sistema cardiovascular y respiratorio, así como el metabolismo energético muscular” (p. 1).

Una de las variables que permite registrar, en base a los valores de gases arrojados por el equipo, es la Razón de Intercambio Respiratorio o *Respiratory Exchange Ratio* (RER), definida como la relación entre la producción de dióxido de carbono y el consumo de oxígeno (VO_2) (Bruzzese y Bazán, 2022, p. 1498). También permite estimar el gasto energético alcanzado durante la realización de los gestos propios del deporte analizado (McArdle et al., 2015).

En el manual de fisiología de la escalada, desarrollado por Hernández (2015), se describe y estructura la disciplina a través de tres sistemas fisiológicos: el muscular, el cardiovascular y el metabólico. A los efectos del presente trabajo, destacamos principalmente este último. El autor destaca, tomando como referencia a diversos estudios (Booth, 1999; de Geus, 2006; de Moraes Bertuzzi, 2007; Giles, 2006; Sheel, 2004; Watts, 2004), que la FC se incrementa según aumenta la dificultad de escalada y que “debe matizarse en el sentido de que existe una variabilidad en este aumento que obedece a diferentes factores como la intensidad de la escalada, la experiencia o el nivel de cada escalador” (p. 18). En relación al VO_2 , puntualmente el $\text{VO}_{2\text{máx}}$, Hernández (2015) afirma que se han obtenido medidas muy heterogéneas durante esfuerzos de escalada de este parámetro, con valores que oscilan entre 20 y 50 ml/kg/min, según la dificultad, el sexo y el nivel de los escaladores.

En el caso de la escalada deportiva existen antecedentes que han abordado el estudio de la demanda fisiológica de su práctica. No obstante, son pocos los trabajos que han analizado particularmente la modalidad *boulder*. En términos generales, se ha establecido que los sistemas aeróbico y anaeróbico aláctico son los principales sistemas energéticos demandados durante la escalada (Watts, 2004). En el estudio de de Moraes Bertuzzi et al. (2007) los autores concluyen que tanto el nivel de entrenamiento como la dificultad de la ruta no influyen directamente en la contribución de los mencionados sistemas (p. 297). Por otro lado, Sheel et al. (2003) sugieren que, a medida que se acrecienta la dificultad de la ruta, se verifica un incremento tanto en la FC como en el VO_2 picos (p. 1230); por lo que a este respecto no existiría consenso entre los diferentes autores.

RESEÑA METODOLÓGICA

El presente estudio está enmarcado dentro de un proyecto de investigación más amplio denominado *Evaluación integral de componentes de la condición física*,

patrones de conducta sedentaria, actividad física y sueño: asociación con el estado cardiovascular en niños, adolescentes y adultos. A partir de una base de datos obtenida en el marco de dicho proyecto, fueron seleccionados una serie de datos empleados posteriormente para la realización del presente trabajo. Dicho proyecto fue aprobado por el comité de ética del ISEF (Res. Nro 5/2021 del 18 de mayo de 2021).

Diseño experimental

Se llevó adelante un proceso de investigación, definiéndose éste como un “conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema con el resultado (o el objetivo) de ampliar su conocimiento” (Hernández Sampieri y Mendoza Torres, 2018, p. 4). En particular, el estudio estuvo centrado en la descripción y comparación de variables fisiológicas relacionadas al sistema cardiovascular y respiratorio, en dos niveles de esfuerzo (V1 y V3) en la modalidad de escalada *boulder*.

Considerando el propósito del presente trabajo, se optó por un diseño de tipo cuantitativo, no experimental y transversal descriptivo. Según conceptos de los mismos autores, un diseño de tipo cuantitativo es aquel en el cual se seleccionan “casos o unidades para medir en estas las variables en un contexto específico (lugar y tiempo); se analizan y vinculan las mediciones obtenidas (utilizando métodos estadísticos), y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis” (p. 6). En lo que respecta a los diseños transversales descriptivos serían aquellos en los cuales “el procedimiento consiste en ubicar en una o diversas variables a un grupo de personas u otros seres vivos, objetos, situaciones, contextos, fenómenos, comunidades, etc., y proporcionar su descripción” (p. 155).

Sujetos

El presente estudio se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico. Los sujetos fueron seleccionados por conveniencia, debido al vínculo de una de las autoras del presente trabajo (M.L.), en su calidad de docente y escaladora, con la institución deportiva donde se llevó adelante el estudio (MBC).

Se establecieron como criterios de inclusión: i) ser escaladores mayores de edad (>18 años), practicantes de escalada deportiva en su modalidad *boulder* con al menos un año de experiencia; ii) tener un nivel autopercebido superior a V3; iii) no

ser fumador; y iv) no presentar patologías osteoarticulares, respiratorias o de cualquier otro tipo que pudieran afectar el rendimiento de escalada.

Se seleccionaron inicialmente 22 voluntarios de ambos sexos. Todos ellos fueron informados oralmente y en forma escrita sobre los objetivos y características del estudio (anexo 1), luego de lo cual leyeron y firmaron un consentimiento informado (anexo 2).

Procedimientos

Evaluaciones de laboratorio

Las evaluaciones iniciales fueron realizadas en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio perteneciente al Instituto Superior de Educación Física (ISEF), Udelar, sede Parque Batlle, Montevideo. En primer lugar, luego de obtener datos del sujeto referidos a su edad, sexo, y nivel autopercebido como escalador o escaladora, se determinó su masa corporal y porcentaje de masa grasa, utilizando un sistema de bioimpedancia eléctrica (InBody-120, InBody Co., Corea), así como su altura mediante un estadiómetro portátil (SECA 213, SECA, Alemania).

Posteriormente, los sujetos realizaron una prueba de esfuerzo incremental máxima en cicloergómetro (Cyclus 2; RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Alemania). El protocolo se inició con una fase de calentamiento de dos minutos de duración, durante la cual los sujetos pedalearon a una cadencia de entre 30 y 40 rpm, generando una potencia de 20W. Finalizada esta etapa, se les solicitó que mantuvieran en todo momento una cadencia igual o superior a 50 rpm, mientras el software del dispositivo incrementaba la potencia en forma gradual y continua, a razón de 25W por minuto. El test finalizaba cuando el sujeto alcanzaba la fatiga, o era incapaz de sostener la cadencia mínima establecida.

Durante dicho esfuerzo, se realizó en forma continua un análisis directo de gases respiratorios, respiración a respiración, utilizando un ergoespirómetro (Cortex Metalyzer 3B; CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Alemania). Adicionalmente también se midió la FC, utilizando una banda con sensor (Polar H7; Polar Electro Inc., Finlandia), colocada alrededor del tórax a la altura del proceso xifoideo. Los datos fueron recibidos mediante tecnología bluetooth 4.0, e interpretados por el software correspondiente (MetaSoft Studio). El mismo permitió además la

determinación de los umbrales VT1 y VT2.

Durante la realización de las evaluaciones la temperatura fue en todo momento controlada por un sistema de aire acondicionado entre 22 y 24°C (promedio 23,3°C); mientras que la humedad ambiente fue de $53 \pm 6.1\%$.

Evaluaciones de campo

En días posteriores a la evaluación de laboratorio, y dentro del margen de una semana luego de la misma, se realizaron las evaluaciones en el gimnasio de escalada MBC. La misma consistió en la realización continua de una ruta de nivel V1 durante un tiempo de 4 minutos, seguido de una pausa activa autogestionada de baja intensidad de 20 minutos, y posteriormente la realización de otra ruta de 4 minutos, pero de nivel V3. Se les solicitó a los participantes un desarrollo continuo de la actividad, evitando detenerse en las presas por más de 3 segundos, ya sea para colocarse magnesio en las manos o para tomar un descanso. Se les pidió además que, durante el tiempo estipulado, escalaran la ruta la mayor cantidad de veces que les fuera posible.

Previo al inicio de la evaluación, cada deportista realizó una entrada en calor de cinco minutos de duración. Considerando que en todos los casos se trataba de deportistas con suficiente experiencia en la modalidad *boulder*, se permitió que tanto la intensidad como los ejercicios empleados durante la misma fuera definido por cada sujeto. Adicionalmente, inmediatamente previo a la realización tanto de la ruta V1 como de la ruta V3, se solicitó a los deportistas que permanecieran en reposo total durante tres minutos, sentados frente a la pared y visualizando mentalmente la realización del esfuerzo subsiguiente.

En la figura 3 se representan los agarres definidos para el presente estudio en cada una de las modalidades. Las presas verdes corresponden al lugar donde deben colocarse las manos al momento de comenzar; las amarillas sólo pueden ser utilizadas por los miembros inferiores; las azules son libres para cualquier parte del cuerpo; y la roja responde a la presa *top* (la última del camino, la cual debe recibir el contacto estable de las dos manos).

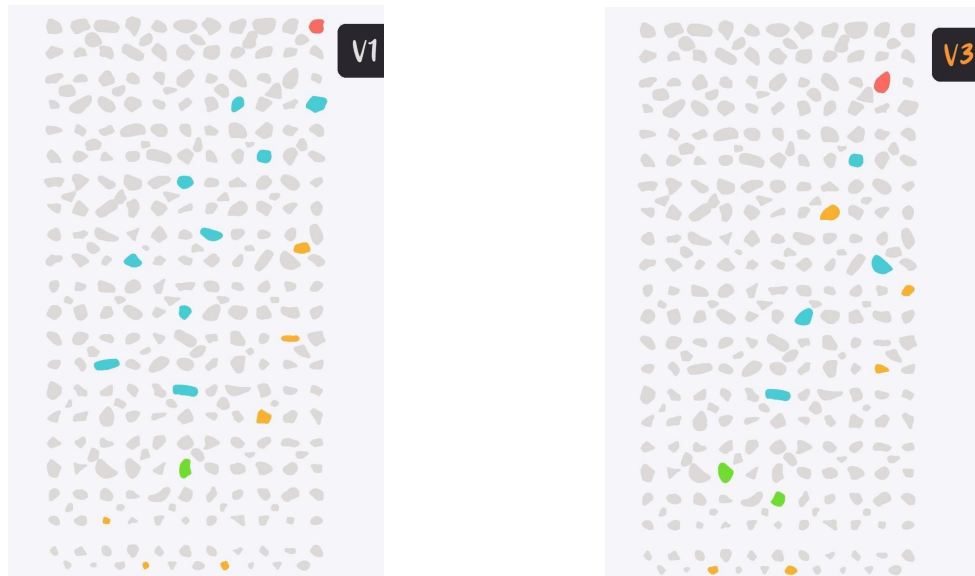


Figura 3. Representación gráfica de las rutas realizadas por las y los escaladores para ambas modalidades.

En todo momento durante el esfuerzo, los sujetos utilizaron un ergoespirómetro portátil (Metamax 3B-R2) (figura 4), el cual según indicaciones del fabricante fue calibrado previo a cada ejecución. En forma adicional, se utilizó un sensor de FC de banda Polar H7 (Polar Electro Inc., Finlandia, en forma similar a lo realizado en el test de laboratorio.



Figura 4. *Escaladora utilizando el ergoespirómetro portátil, posterior a la realización de las rutas.*

Adicionalmente, inmediatamente luego de concluida la realización de cada uno de los bloques de cuatro minutos (V1 y V3), se les preguntó qué tan intenso habían percibido el esfuerzo de toda la ruta, tanto a nivel de disnea como de fatiga muscular, utilizando a este propósito la escala modificada de Borg.

Durante las evaluaciones, la temperatura dentro del gimnasio fue de $26.2 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$; mientras que la humedad fue de $52.3 \pm 9.7\%$.

Análisis estadístico

Los resultados para las variables continuas son presentados como media $\pm$ desvío estándar; mientras que para las variables ordinales son presentados como mediana (desvío intercuartil). Para la determinación de las posibles diferencias en los valores de las variables continuas analizadas en los diferentes tipos de esfuerzo (test maximal de laboratorio, escalada nivel V1 y escalada nivel V3) se utilizó el test estadístico ANOVA de medidas repetidas, previa determinación de los supuestos de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y esfericidad (test de Mauchly). En caso de no cumplirse con el primero de estos supuestos, se utilizó el test de Friedman para medidas repetidas. En caso de violación del segundo supuesto, se utilizó la corrección de Greenhouse – Geisser. En caso de observar diferencias estadísticamente significativas, se realizó un análisis post-hoc utilizando el test de Bonferroni. Para determinar la posible diferencia en las percepciones de esfuerzo (variable ordinal) entre las rutas de nivel V1 y V3, se utilizó la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

En todos los casos se estableció un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software libre JASP (versión 0.19.3; Equipo JASP 2024, Universidad de Ámsterdam).

RESULTADOS

De los 22 sujetos inicialmente seleccionados para el estudio, solo 14 fueron finalmente incluidos en el análisis de los datos. La principal causa de exclusión

correspondió a la imposibilidad de completar al menos una de las instancias de evaluación programadas, debido a limitaciones de disponibilidad horaria. En la tabla 1 se presentan las características de los sujetos que formaron parte del estudio, en su totalidad y diferenciados por sexo.

Tabla 1.

Características de los participantes

	Mujeres (n = 6)	Hombres (n = 8)	Totales de la muestra (n = 14)
Edad (años)	33.8 ± 5.9	32.0 ± 6.7	32.8 ± 6.2
Masa (kg)	58.0 ± 4.3	75.3 ± 9.3	67.9 ± 11.5
Altura (cm)	164.8 ± 6.5	177.8 ± 5.1	172.2 ± 8.6
IMC (kg/m ²)	21.4 ± 1.9	23.8 ± 2.6	22.8 ± 2.6
Masa grasa (%)	17.7 ± 4.7	12.1 ± 4.2	14.5 ± 5.1
Exp. esc. (años)	4.2 ± 1.2	6.6 ± 6.8	5.6 ± 5.2
Frec. ent. (s/s)	2.7 ± 0.6	3.0 ± 1.1	2.9 ± 0.9
VO ₂ máx (ml/kg.min)	42.8 ± 5.0	47.6 ± 7.3	45.6 ± 6.7

Abreviaciones: Exp. esc. = experiencia de escalada; Frec. ent. (s/s) = Frecuencia de Entrenamiento (sesiones por semana)

En la tabla 2 se muestran variables fisiológicas medidas en condiciones de laboratorio mediante un test progresivo en rampa, así como durante el esfuerzo de escalada en las modalidades V1 y V3. Adicionalmente, los resultados de VO₂ pico relativo, FC pico y ventilación pico se muestran en las figuras 5 a 7, respectivamente.

Tabla 2.

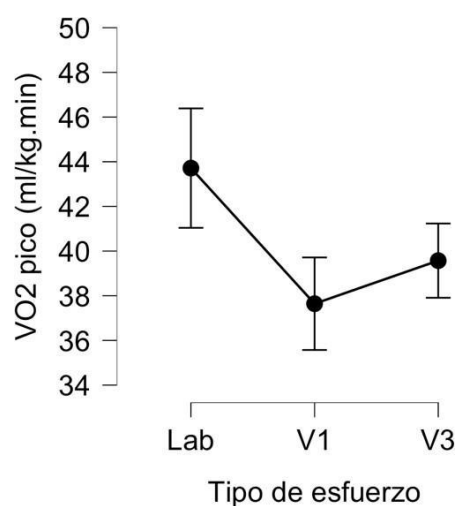
Variables fisiológicas medidas en laboratorio y en esfuerzo de escalada en las modalidades V1 y V3 (n = 14)

	Laboratorio	V1	V3	Valor p
VO ₂ pico relativo (ml/kg.min)	43.7 ± 6.1	37.6 ± 3.9	39.6 ± 4.8	< 0.001*
FC pico (lpm)	174.7 ± 18.0	167.1 ± 13.3	169.6 ± 10.9	0.2
Vent. pico (l/min)	110.6 ± 21.1	76.8 ± 15.0	81.9 ± 21.1	< 0.001*

Nota: los datos de Laboratorio corresponden a un test progresivo en rampa maximal. * indica significancia estadística (p < 0.05). *Abreviaciones:* FC = Frecuencia cardíaca; Vent. pico = ventilación minuto pico

En todas las variables analizadas, los valores registrados en condiciones de

laboratorio fueron superiores a los observados durante los esfuerzos de escalada, siendo estos últimos a su vez mayores en la modalidad V3 en comparación con V1. El análisis post-hoc para los valores de VO_2 pico relativos y ventilación minuto pico, determinó una diferencia significativa entre el resultado obtenido en el laboratorio y la modalidad V1 ($p < 0.001$ para ambas variables) y entre el laboratorio y la modalidad V3 ($p = 0.015$ y $p < 0.001$ para VO_2 y ventilación respectivamente). Por el contrario, no se observaron diferencias significativas entre los valores de las modalidades V1 y V3 ($p = 0.2$ y $p = 1.0$ para VO_2 y ventilación respectivamente). En lo que atañe a la FC pico, las diferencias observadas en ningún caso alcanzaron significancia estadística ($p > 0.05$); si bien los valores resultaron superiores en el test progresivo maximal en comparación con la modalidad V1 (96% del máximo) y V3



(97% del máximo).

Figura 5. VO_2 pico relativo obtenido mediante un test progresivo en rampa en laboratorio (Lab), y en las modalidades de escalada V1 y V3. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%

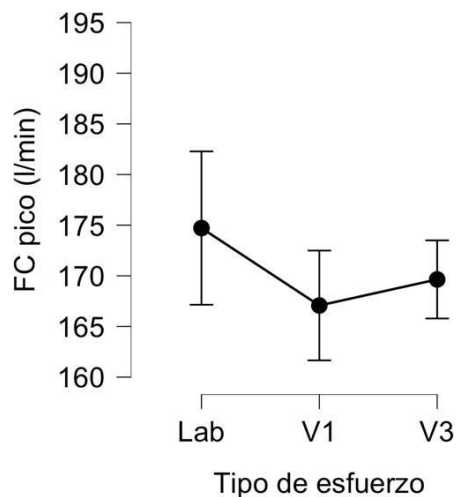


Figura 6. Frecuencia cardíaca pico relativa obtenida mediante un test progresivo en rampa en laboratorio (Lab), y en las modalidades de escalada V1 y V3. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%

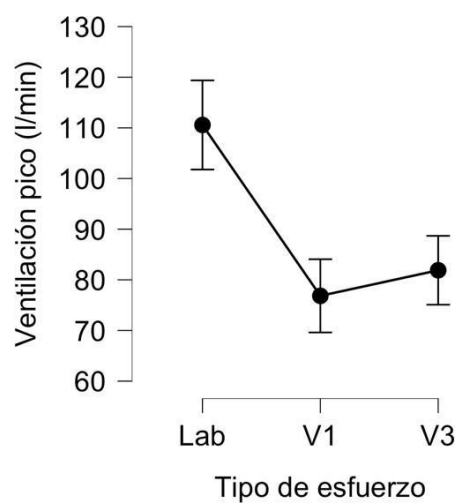


Figura 7. Ventilación minuto pico obtenida mediante un test progresivo en rampa en laboratorio (Lab), y en las modalidades de escalada V1 y V3. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%

En la tabla 3 se muestra para ambas modalidades de escalada, el promedio y desvío estándar de las variables VO_2 relativo, FC y ventilación minuto, diferenciados para cada uno de los cuatro minutos de esfuerzo (correspondientes a la duración total de cada ruta). En forma adicional, en las figuras 8 y 9 se representan los promedios de

VO₂ relativo para cada minuto de escalada, en relación con los umbrales ventilatorios primero (VT1, 27.2 ml/kg.min) y segundo (VT2, 35.7 ml/kg.min) y el VO₂ pico, medidos en el test progresivo en rampa realizado en laboratorio, para V1 y V3 respectivamente.

Tabla 3.

Variables fisiológicas diferenciadas para cada minuto de esfuerzo, en ambas modalidades de escalada (n = 14)

<i>Escalada modalidad V1</i>				
	M1	M2	M3	M4
VO ₂ relativo (ml/kg.min)	22.5 ± 2.9	32.5 ± 2.3	34.9 ± 2.7	35.7 ± 3.9
FC (lpm)	146.8 ± 13.0	162.0 ± 12.4	165.5 ± 12,7	166.6 ± 13.3
Ventilación (l/min)	39.2 ± 7.4	57.0 ± 7.6	66.4 ± 9.9	74.5 ± 13.6
<i>Escalada modalidad V3</i>				
	M1	M2	M3	M4
VO ₂ relativo (ml/kg.min)	22.5 ± 2.8	33.2 ± 3.2	35.8 ± 2.8	38.4 ± 3.6
FC (lpm)	148.2 ± 12.8	163.1 ± 10.5	166.5 ± 11.5	170.3 ± 11.8
Ventilación (l/min)	40.5 ± 7.8	61.7 ± 12.8	72.4 ± 14.5	81.9 ± 20.3

Abreviaciones: M = minuto

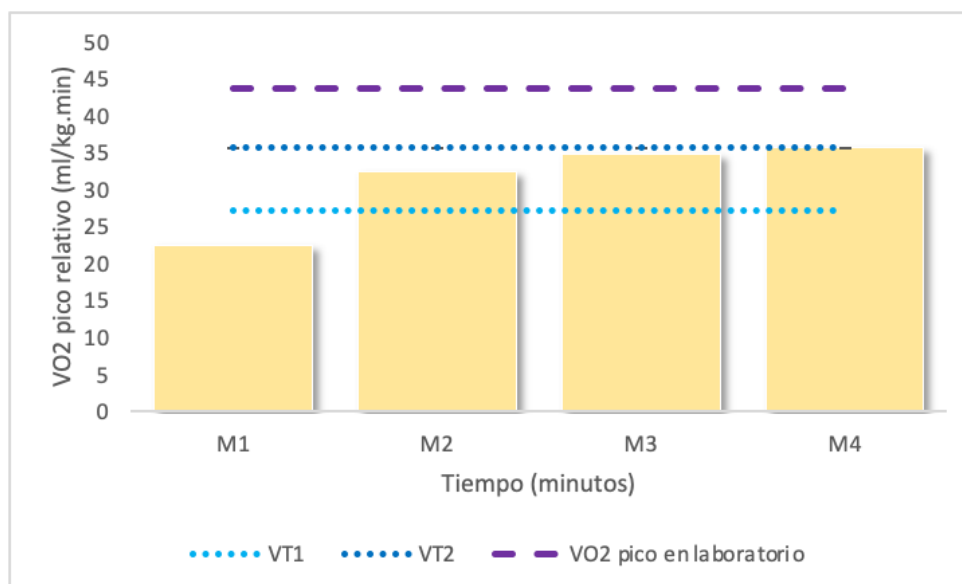


Figura 8. VO₂ relativo promedio alcanzado en cada minuto de esfuerzo para V1, en relación a los valores promedio de VT1, VT2 y VO₂ pico observados en un test progresivo en rampa en el laboratorio. Abreviaciones: M = minuto; VT = umbrales

ventilatorios.

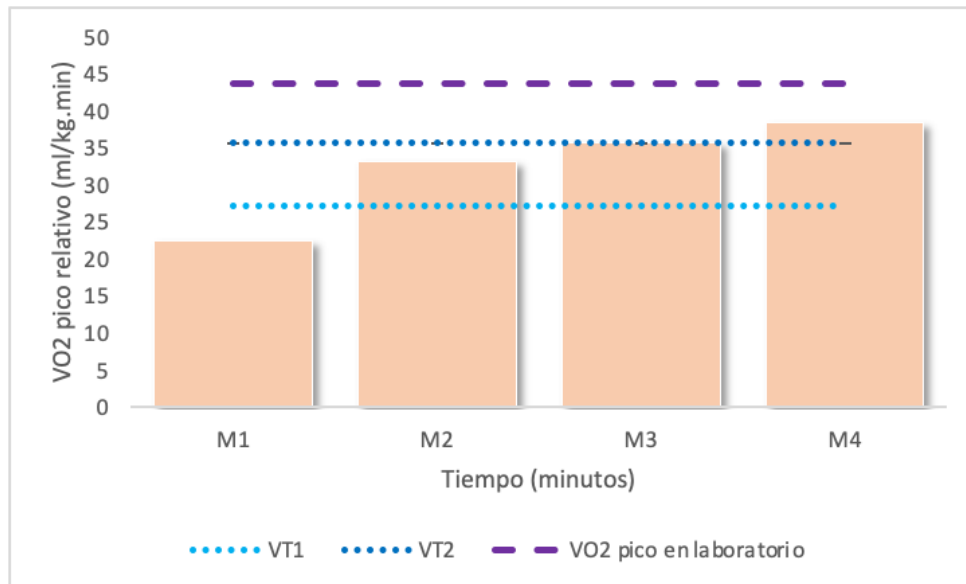


Figura 9. *VO₂ relativo promedio alcanzado en cada minuto de esfuerzo para V3, en relación a los valores promedio de VT1, VT2 y VO2 pico observados en un test progresivo en rampa en el laboratorio. Abreviaciones: M = minuto; VT = umbrales ventilatorios*

En ambas modalidades de escalada, y para todas las variables consideradas, se observó un incremento muy notorio de los valores del minuto 1 al minuto 2, y *a posteriori* un incremento sucesivo menos marcado hasta alcanzar un máximo en el último minuto de esfuerzo.

Particularmente en lo que atañe al VO₂ relativo, en ambas modalidades los valores promedio para el primer minuto se observaron por debajo del umbral VT1 (zona 1 según el modelo trifásico de Skinner y McLellan [1980]). En el caso de la modalidad V1, el valor promedio de los minutos 2 y 3 se encontró en la zona interumbral (zona 2 del modelo); mientras que el valor promedio del minuto 4 coincidió con el umbral VT2, correspondiendo con el 81% del VO₂ pico alcanzado en el laboratorio. En el caso de la modalidad V3, el valor promedio del minuto 2 se observó en la zona interumbral, mientras que el valor promedio del minuto 3 coincidió (prácticamente) con el umbral VT2. Este último fue luego superado en el minuto 4, alcanzando el 88% del VO₂ pico y dentro de la zona 3 del mencionado

modelo.

En la tabla 4 se muestran los valores correspondientes a la RPE según escala de Borg modificada, para ambas modalidades y tanto en lo que atañe a disnea como a fatiga muscular global.

Tabla 4.

Sensación subjetiva de esfuerzo (RPE) para las modalidades V1 y V3 (n = 14)

	Modalidad V1	Modalidad V3	Valor p
Disnea	7.0 (3)	7.5 (3.75)	0.3
Fatiga muscular	7.5 (3)	8.0 (2)	0.6

Nota: Los datos son presentados como mediana (desvío intercuartil). Corresponden a la sensación de esfuerzo medida por escala de Borg modificada, para la totalidad de la ruta. La significancia estadística se determinó mediante la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

Para ambas rutas, el valor reportado de fatiga muscular resultó ser ligeramente superior que el reportado para la disnea, aunque con una dispersión grande y sin que la diferencia alcance significancia estadística ($p > 0.05$). Asimismo, la modalidad V3 resultó ser en este sentido más exigente que la modalidad V1, aunque nuevamente las diferencias fueron leves y no significativas ($p > 0.05$).

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se analizaron variables respiratorias y cardiovasculares en escaladores de ambos sexos de la modalidad *boulder*, comparando los niveles V1 y V3. Hasta donde llega el conocimiento de los autores y autoras, este sería el primer estudio con estas características en Uruguay. Adicionalmente, a nivel internacional se han realizado estudios con protocolos similares (de Moraes Bertuzzi et al., 2007; Sheel et al., 2003) pero centrados en la escalada deportiva, existiendo una escasez de datos sobre la modalidad *boulder*.

Los resultados indican que tanto el VO_2 pico relativo como la ventilación minuto pico observados durante la ruta, fueron significativamente menores ($p < 0.05$) que los alcanzados en el test progresivo maximal (81% y 88% del máximo para V1 y V3 respectivamente). En relación a la demanda respiratoria, este hecho refleja la condición submaximal del esfuerzo de escalada en las rutas analizadas. Por el contrario, en lo que atañe a la FC pico, no se observaron diferencias significativas (p

> 0.05) entre los tres tipos de esfuerzo; siendo los valores alcanzados durante la escalada menores pero muy cercanos (> 95%) del obtenido en condiciones maximales.

Estas observaciones indicarían una pérdida de la linealidad entre FC y VO_2 durante la escalada, con un incremento desproporcionado de la primera en relación al segundo. En este sentido, no se verificaría la linealidad entre ambas variables que sí se observa en test progresivos en cinta ergométrica o cicloergómetro, así como en deportes de resistencia cardiovascular como el ciclismo o la carrera de fondo (López Chicharro et al., 2013).

Esta observación también fue reportada por Mermier et al. (1997) y por Sheel et al. (2003) en escaladores de ambos sexos de competencia experimentados o de nivel élite, así como por de Moraes Bertuzzi et al. (2007) en escaladores de élite y recreacionales, durante la realización de rutas de diferentes grados de dificultad relativa (fácil, moderado o difícil). En estas condiciones se observaron incrementos de la FC hasta un 40% por encima del porcentaje del VO_2 correspondiente.

Dejando de lado el posible estrés psicológico ocasionado por el empleo del analizador de gases al cual los y las deportistas no estaban habituados, una posible explicación a este hecho podría estar dada por el miedo a la caída y la ansiedad. Sin embargo, con respecto al primero es de destacar que en la modalidad *boulder* la altura de la pared es reducida (15 pies o 4.5m), a lo que se agrega la presencia de una superficie suficientemente acolchonada como para recibir al deportista con mínimo riesgo. En relación a lo segundo, Fryer et al. (2012) observaron que los niveles de ansiedad somática y cognitiva previos al inicio de la ruta no tenían un rol significativo a este respecto, al menos en escaladores con cierto grado de experiencia como es el caso del presente trabajo. Esto podría explicarse por la capacidad de los escaladores experimentados para diferenciar el riesgo percibido del riesgo real.

Otra posible causa para la pérdida de relación FC – VO_2 podría estar relacionada con el uso durante la escalada de contracciones isométricas intermitentes, particularmente a nivel de los miembros superiores, limitando el flujo sanguíneo de los músculos activos. Dichas contracciones están determinadas fundamentalmente por agarres realizados en un nivel superior al del plano del corazón, lo que suscita un incremento en la actividad nerviosa simpática muscular, mediada por vía metaborefleja; concomitantemente determinando un incremento en la FC (Michikami et al., 2002). Adicionalmente, durante el presente estudio los descansos durante el

esfuerzo fueron limitados, no dando tiempo para que los escaladores pudieran sacudir y relajar sus manos y miembros superiores; lo que eventualmente podría haber reducido el incremento desproporcionado de la FC (Fryer et al., 2012).

La modalidad *boulder* (en comparación con otras modalidades como la escalada de dificultad o *lead*, y la escalada de velocidad) requiere esfuerzos de menor duración, pero mayor esfuerzo muscular localizado, a lo que se agrega una participación considerable del metabolismo no dependiente de oxígeno en conjunción con las fuentes aeróbicas de obtención de energía metabólica (Callender et al., 2021). En concordancia con esto, en un estudio con escaladores recreacionales y de élite, realizado en pared de 10m de altura y con rutas de nivel fácil, moderado y difícil (de 25 movimientos en promedio), se determinó que para ambos grupos y para las tres rutas utilizadas el metabolismo energético preponderante era el aeróbico u oxidativo, seguido por una muy importante contribución del metabolismo no dependiente de oxígeno aláctico o de los fosfágenos, y una menor contribución del metabolismo no dependiente de oxígeno láctico o glucolítico. En todos los casos, se determinó que la producción de ATP por vías no dependientes de oxígeno (lácticas y alácticas) fue superior a la de las vías aeróbicas (de Moraes Bertuzzi et al., 2007). Todo esto contribuiría a un incremento desproporcionado de la FC, así como de la presión arterial (Callender et al., 2021).

Este hecho, aunado a que los resultados indican que los deportistas no alcanzaron un estado estable durante el tiempo que demandó el esfuerzo, llevan a proponer que la FC no constituiría la mejor herramienta para estimar la intensidad de la carga aeróbica en este tipo de trabajos. Esto fue también sugerido por Mermier et al. (1997), quienes indicaron que la relación $FC - VO_2$ que se verifica en esfuerzos de tipo aeróbico no debería ser utilizada en el análisis de la escalada, o para la prescripción de intensidad de la carga de entrenamiento para este deporte. En este sentido, otras herramientas como la RPE o la monitorización de la saturación de O_2 muscular utilizando sensores portátiles, podrían representar una mejor opción.

La importante contribución de las contracciones de predominio isométricas, particularmente a nivel de los músculos flexores de los dedos, así como de la cintura escapular, ha llevado a categorizar a esta modalidad de escalada como un deporte de fuerza más que de resistencia cardiovascular y respiratoria (Kuepper et al., 2009). En relación a esto, se ha sugerido que los escaladores recreacionales no requieren un nivel elevado de capacidad aeróbica relativa (Watts et al., 2000). En concordancia, los

escaladores y escaladoras del presente estudio presentaron niveles de $\text{VO}_2\text{máx}$ ligeramente superiores a los estimados para adultos saludables inactivos (mujeres: 38.6 ml/kg.min vs 42.8 ml/kg.min; varones: 47.2 ml/kg.min vs 47.6 ml/kg.min; hipocinéticos y escaladores respectivamente) (Barrios Vergara et al., 2018); pero inferiores a los observados en deportistas adultos de resistencia en pruebas maximales en cicloergómetro (mujeres: 49.1 ml/kg.min vs 42.8 ml/kg.min; varones: 51.9 ml/kg.min vs 47.6 ml/kg.min; deportistas de resistencia y escaladores respectivamente) (Wiecha et al., 2023).

Incluso se ha determinado que escaladores de nivel elite presentan $\text{VO}_2\text{máx}$ promedio de entre 52 y 55 ml/kg.min (Watts, 2004), similar al observado en gimnastas (España Romero et al., 2009) pero que resulta notoriamente inferior a lo reportado para deportistas de resistencia como ciclistas de elite (>68 ml/kg.min) (Kuepper et al., 2009). Es de mencionar que dichos valores se obtuvieron en test progresivos realizados en cinta ergométrica o cicloergómetro, lo que implica esfuerzos a los cuales los escaladores podrían no haber estado habituados; algo que debe ser tenido en cuenta al momento de interpretar los resultados.

Considerando la mencionada demanda de esfuerzo muscular, sería previsible que la fatiga localizada en los músculos flexores del antebrazo constituya un determinante más importante en el rendimiento que la fatiga sistémica (predominantemente de naturaleza aeróbica), como se sugirió en estudios previos (Schöffl et al., 2004, 2006; Sheel, 2004). En concordancia con esto, en el presente trabajo la RPE muscular para el total de la ruta resultó superior, para ambos niveles, a la RPE aeróbica (en términos de disnea). Sin embargo, es de destacar que las diferencias en los promedios fueron mínimas (0.5 puntos en ambos casos) y no significativas ($p > 0.05$). Esto indicaría que, en lo que atañe al rendimiento en esfuerzos similares a los del presente trabajo, el entrenamiento de la resistencia muscular (particularmente de la logia anterior del antebrazo y de los músculos de la cintura escapular) resultaría de similar relevancia que la mejora de la resistencia aeróbica. Sin embargo, el hecho de que los sujetos no tuvieran experiencia previa con el uso de la escala de Borg, implica que estos resultados deban ser considerados con cautela.

En relación a la diferencia observada entre los niveles de escalada V1 y V3, como era de esperar se obtuvieron valores mayores para todas las variables analizadas (VO_2 pico, FC pico y ventilación pico) en el segundo con respecto al primero. No

obstante, las diferencias no alcanzaron significancia estadística, lo que lleva a sugerir que la demanda fisiológica no difiere en forma importante entre ambas rutas estudiadas. En contraposición, Mermier et al. (1997) estudiando escaladores experimentados de ambos sexos hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la FC, concentración de lactato sanguíneo, VO_2 y gasto calórico al comparar entre diferentes niveles de dificultad de escalada. Sin embargo, y a diferencia del presente estudio, en dicho trabajo se utilizaron paredes con diferentes grados de inclinación para incrementar la dificultad (90, 106 y 151 grados), lo que podría explicar las mencionadas diferencias.

En lo que atañe a las demandas fisiológicas observadas en el presente trabajo diferenciadas por minuto de esfuerzo, si bien sus valores se incrementaron sucesivamente desde el primer hasta el último minuto de la ruta, sus valores fueron notoriamente menores en el primer minuto con respecto a los tres restantes, y sin llegar a alcanzar un estado estable claro al completar el esfuerzo. Considerando el modelo trifásico de la cinética del VO_2 , los hallazgos indicarían que durante el primer minuto los sujetos se encontraban predominantemente en la fase I o componente cardiodinámico, representado por bajos niveles relativos de VO_2 . Adicionalmente, en los tres minutos finales los hallazgos indicarían que los escaladores y escaladoras se encontraban en la fase II o componente primario de dicho modelo, observándose un aumento lento pero continuo en el VO_2 (componente lento de la cinética del VO_2), sin llegar a alcanzar la fase III o estado estable (Harvey, 2011). Esta dinámica resulta esperable, ya que durante la mayor parte del esfuerzo los deportistas se hallaban en intensidades por encima del VT_1 , y cercanas (o incluso superando) el VT_2 . A estas intensidades de esfuerzo, cuatro minutos podrían no resultar suficientes para alcanzar la mencionada estabilidad fisiológica.

Adicionalmente, el hecho de que los y las deportistas alcanzaran intensidades cercanas al VT_2 durante un porcentaje significativo del tiempo total de esfuerzo, daría cuenta de una importante contribución del sistema glucolítico durante la ruta. Esto está en concordancia con lo reportado por Callender et al. (2021), quienes indican que el *boulder* de competencia demanda un esfuerzo cardiorrespiratorio importante, evidenciado por porcentajes elevados del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y un prolongado tiempo de esfuerzo por encima del VT_1 . Adicionalmente, de Moraes Bertuzzi et al. (2007) encontraron valores pico de lactato en sangre capilar cercanos a 4.0 mMol/L en escaladores recreacionales (4.4 ± 1.6 mMol/L) y de elite (3.9 ± 1.8 mMol/L) para

una ruta de dificultad fácil y difícil, respectivamente. Si bien la relación entre la lactatemia y el VT2 puede variar en forma significativa entre sujetos, se ha establecido que en este último umbral la concentración de lactato en sangre es de aproximadamente 4.0 mMol/L (Faude et al., 2009). En este sentido los deportistas se encontrarían cercanos a su VT2, correspondiéndose esto con los hallazgos del presente estudio.

Dichos resultados indicarían que, durante las rutas estudiadas, tanto en lo que atañe al nivel V1 como V3 la obtención de energía metabólica depende en gran medida del sistema glucolítico. Si bien es necesario ser cautelosos con la interpretación de estos resultados ya que la determinación de los umbrales es dependiente del protocolo utilizado, estos hallazgos podrían representar un aporte al momento de planificar la preparación física de los escaladores y escaladoras.

El presente estudio tuvo limitaciones, destacándose entre ellas haber contado con una muestra de tamaño relativamente reducido. No obstante, se debe considerar que investigaciones previas similares han utilizado muestras de tamaño comparable. Adicionalmente, hubiera sido deseable contar con deportistas con experiencia en realización de test que involucren el empleo de analizadores de gases, así como en la utilización de escalas de sensación subjetiva de esfuerzo. Además, es necesario mencionar que dos de los escaladores participaron del estudio luego de entre cuatro y seis semanas de inactividad deportiva, siendo esto en todos los casos no ocasionado por lesiones deportivas. Por último, en relación al empleo de ergoespirómetros portátiles, se ha sugerido que el movimiento excesivo y la hiperventilación asociados al esfuerzo podrían afectar el registro del equipo (McArdle et al., 2015). De todas formas, consideramos que el tipo de esfuerzos analizados en el presente trabajo no determinaron una pérdida en la exactitud de las mediciones registradas.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudiaron las respuestas fisiológicas agudas, en particular aquellas vinculadas a la contribución del metabolismo aeróbico, durante la realización de dos rutas de diferente dificultad en la escalada *boulder*. Se observó una marcada disociación entre la FC y el VO_2 , posiblemente relacionada con el predominio de contracciones isométricas intermitentes en los miembros superiores. Estos resultados refuerzan la idea de que, en esta disciplina, la FC por sí sola no

constituye un indicador fiable de la carga de esfuerzo, siendo recomendable complementar su monitoreo con otras herramientas.

Asimismo, se destaca una contribución significativa del metabolismo glucolítico no dependiente de O_2 en la producción de energía, incluso en rutas de baja o moderada dificultad. Esto subraya la necesidad de incluir estrategias de entrenamiento orientadas al desarrollo y optimización de esta vía energética, en procura del óptimo rendimiento.

Considerando el crecimiento en los últimos años de la popularidad de la escalada deportiva, tanto a nivel global como en Uruguay, creemos necesaria la realización de más estudios de carácter científico en esta área. En este sentido, sería recomendable la realización de trabajos similares en *boulder* y otras modalidades, con una mayor cantidad de sujetos, que impliquen la realización de test progresivos maximales adaptados a la realidad técnica de este deporte, y que incorporen el análisis de variables fisiológicas complementarias, como la lactatemia y en particular la espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (NIRS) para la monitorización del nivel de O_2 muscular. Esta tecnología no invasiva permitiría obtener información más precisa sobre la dinámica de oxigenación local, especialmente en los músculos flexores de los dedos, altamente exigidos durante el esfuerzo. Su aplicación podría contribuir a una mejor comprensión de los mecanismos fisiológicos involucrados en el rendimiento y la fatiga en escaladores de distintos niveles, así como constituir una herramienta útil para la programación y control de la intensidad del entrenamiento.

LISTA DE REFERENCIAS

- Asociación Uruguay de Escalada. (2025). *Dónde escalar en Uruguay*.
<https://aude.com.uy/>
- Barrios Vergara, M., Ocaranza Ozimica, J., Llach Fernandez, L., Osorio Fuentealba, C., Giner Costagliola, V., y Sacomori, C. (2018). VO₂ Indirect Maximum and Fitness Age of Sedentary and Non-Sedentary. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 18(71), 493-505.
<https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.71.006>
- Berenguel Senén, A. (2024). Ergoespiometría. En M. P. Sanz Ayán, K. Villelabeitia Jaureguizar, J. Izquierdo García y A. Berenguel Senén (Eds.), *Máster de Formación Permanente en Rehabilitación Cardiovascular* (Tema 6, Módulo 1, pp. 1-17). Editorial MédicaPanamericana.
https://aula.campuspanamericana.com/_Cursos/Curso01623/Temario/MRehab_Cardiaca/M1T6Texto.pdf
- Booth, J., Marino, F., Hill, C., & Gwinn, T. (1999). Energy cost of sport rock climbing in elite performers. *British Journal of Sports Medicine*, 33(1), 14-18.
- Bruzzese, M., y Bazán, N. (2022). Evaluaciones en fisiología del ejercicio: razón de intercambio respiratorio. *Revista Peruana de Ciencia de la Actividad Física y del Deporte*, 9(3), 1496-1508. <https://doi.org/10.53820/v9i3.224>
- Burba, G. (2022). *Routesetting 101, la esencia de un rocódromo*. Ediciones Desnivel, S. L.
- Callender, N., Hayes, T. y Tiller, N. (2021). Cardiorespiratory demands of competitive rock climbing. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 46, 161-168.
<https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0566>.
- de Geus, B., Villanueva O'Driscoll, S., y Meeusen, R. (2006). Influence of climbing style on physiological responses during indoor rock climbing on routes with the same difficulty. *European Journal of Applied Physiology*, 98, 489-496.
<https://doi.org/10.1007/s00421-006-0287-5>
- de Moraes Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Kokubun, E., y Kiss, M. A. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 293-300. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0501-0>
- España-Romero, V., Artero, E.G., Ortega, F.B., Jiménez-Pavón, D., Gutiérrez, A., Castilllo, M.J. y Ruiz, J.R. (2009). Aspectos fisiológicos de la escalada

- deportiva. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 9(35),264-298.
- Faude, O., Kindermann, W., y Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469–490.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
- Fryer, S., Dickson, T., Draper, N., Eltom, M., Stoner, L., y Blackwell, G. (2012). The effect of technique and ability on the VO₂–heart rate relationship in rock climbing. *Sports Technology*, 5(3-4), 143-150.
<https://doi.org/10.1080/19346182.2012.755538>
- Giles, L. V., Rhodes, E. C., y Taunton, J. E. (2006). The physiology of rock climbing. *Sports medicine*, 36, 529-545.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636060-00006>
- Gómez, C. G., Rodríguez, D. A. S., Carvalho, W. R. G., Mostarda, C.T., Gambassi, B. B., Rodrigues, B., Silva, F.F., Higino, W. P., y Souza, R. A. (2017). La Práctica de la Escalada Deportiva Contribuye al Mejoramiento de la Modulación Autónoma en Individuos Jóvenes. *Journal of Exercise Physiology online*, 20(2), 84-91.
- Harvey, J. (2011). A Review: Analyzing How VO₂ Kinetics Limit Exercise Performance. *Journal of Exercise Physiology online*, 14(3), 67-73.
- Hellín-Gómez, P. (2008). Hábitos físico-deportivos en la Región de Murcia: implicaciones para la elaboración del currículum en el ciclo formativo de actividades físico-deportivas [Tesis doctoral, Universidad de Murcia]. Digitum Biblioteca Universitaria. <http://hdl.handle.net/10201/373>
- Hernández, Q. (2015). *Fisiología de la escalada: Entrenamiento en escalada*. Federación Española de Deportes de Montañismo y Escalada.
- Hernández Sampieri, R. y Mendoza Tórres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa y cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill-Educación.
- International Federation of Sport Climbing. (2025). *Boulder*.
<https://www.ifsc-climbing.org/boulder/index>
- International Federation of Sport Climbing. (2020). *IFSC Releases Its 2019 Annual Report*.
<https://climbingbusinessjournal.com/ifsc-releases-its-2019-annual-report/>

- Kuepper, T., Morrison, A., Gieseler, U., y Schoeffl, V. (2009). Sport climbing with pre-existing cardio-pulmonary medical conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 30(06), 395-402. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1112143>
- López Chicharro, J., Vicente Campos, D., y Cancino, J. (2013). *Fisiología del Entrenamiento Aeróbico. Una Visión Integrada*. Editorial Médica Panamericana
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Fisiología del ejercicio: Nutrición, rendimiento y salud*. (8ª ed.). Wolters Kluwer Health España.
- Melano, I. E. (2022). La graduación en la escalada deportiva y boulder. Nuevos aportes y perspectivas. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 27(291), 138-151. <https://doi.org/10.46642/efd.v27i291.3145>
- Mermier, C. M., Robergs, R. A., McMinn, S. M., y Heyward, V. H. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 31(3), 224-228.
- Michikami, D., Kamiya, A., Fu, Q., Niimi, Y., Iwase, S., Mano, T., y Suzumura, A. (2002). Forearm elevation augments sympathetic activation during handgrip exercise in humans. *Clinical Science*, 103, 295 – 301. <https://doi.org/10.1042/cs1030295>
- Schöffl, V., Klee, S., y Strecker, W. (2004). Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 422–425. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.003996>
- Schöffl, V., Möckel, F., Köstermeyer, G., Roloff, I., y Küpper, T. (2006). Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 205–211. <http://doi.org/10.1055/s-2005-837622>
- Sheel A. W. (2004). Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 355–359
- Sheel, A. W., Seddon, N., Knight, A., McKenzie, D. C., y Warburton, D. E. R. (2003). Physiological Responses to Indoor Rock-Climbing and Their Relationship to Maximal Cycle Ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1225-1231. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000074443.17247.05>
- Skinner, J. S., y McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234–248.

<https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>

- Watts, P. B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 361-372.
- Watts, P. B., Daggett, M., Gallagher, P. y Wilkins, B. (2000). Metabolic Response During Sport Rock Climbing and the Effects of Active Versus Passive Recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 185-90. <https://doi.org/10.1055/s-2000-302>.
- Wiecha, S., Kasiak, P. S., Cieśliński, I., Takken, T., Palka, T., Knechtle, B., Nicolaidis, P. T., Małek, L. A., Postuła, M., Mamcarz, A., y Śliż, D. (2023). External validation of VO2max prediction models based on recreational and elite endurance athletes. *PLoS One*, 18(1), e0280897. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280897>

ANEXOS

Anexo 1

Hoja de información realizada para el presente estudio

HOJA DE INFORMACIÓN

Título del proyecto

Demanda de oxígeno en escalada *boulder* realizada en dos bloques definidos V1 y V3

Investigadores responsables:

Nombre: Dr. Carlos Magallanes Teléfono / Celular: 092 196 473

E-mail: camagallanes@gmail.com

Nombre: Sofia Barriola

Teléfono / Celular: 091 034 194

E-mail: sofi.bbaridon@gmail.com

Nombre: Juan Manuel Casais Teléfono / Celular: 091 906 585

E-mail: juan.casais.k@gmail.com

Nombre: Manuela Lev

Teléfono / Celular: 094 887 007 - 097 626 705

E-mail: manulevro@gmail.com

Institución responsable y lugar donde se llevará a cabo el estudio

El estudio se desarrollará en dos etapas. En primer lugar, en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio del Instituto Superior de Educación Física (ISEF). El mismo se enmarca en las actividades del Grupo Investigación en Deporte y Rendimiento y del Grupo de Investigación en Educación Física y Salud.

La segunda etapa, será desarrollada en el gimnasio de escalada Montevideo Boulder Club (MBC).

Propósito del estudio

El objetivo general de esta investigación será determinar el trabajo aeróbico en la escalada *boulder* en diferentes bloques (V1 y V3) a través de la medición (a través de evaluaciones dinámicas) del consumo de oxígeno.

Participación libre y voluntaria

La participación es completamente voluntaria y se podrá abandonar el estudio en cualquier momento sin necesidad de proporcionar ninguna justificación.

En caso que Ud. desee información complementaria sobre el estudio que no esté incluida en este documento o se le haya explicado oralmente, podrá dirigirse en cualquier momento al responsable del proyecto.

Descripción de las actividades experimentales

Las actividades experimentales a realizar en la primera etapa, previamente agendadas, cuentan con un tiempo aproximado de 2 horas reloj.

A continuación, se describen las pruebas que podrán llevarse a cabo:

Evaluación de la condición física:

Medición de talla, peso y composición corporal.

Consistirá en el registro de la estatura y el peso (mediante balanza con estadímetro).

Capacidad cardio-respiratoria.

Se estudiará la capacidad de su sistema cardiovascular y respiratorio de responder al ejercicio. Se le podrá pedir que realice un esfuerzo máximo (hasta el agotamiento).

Se le podrá pedir que ejercite en bicicleta o cinta de correr. También se le podrá pedir que realice ejercicio sin usar equipos, como en las pruebas en las que se mide el tiempo en que recorre una distancia o en la distancia que recorre en un determinado tiempo. Al igual que en la evaluación de otros componentes, las pruebas constarán de una entrada en calor seguida del ejercicio y posterior recuperación

Capacidad muscular.

Las pruebas se harán con su propio peso y/o usando equipos (ej. mancuernas, barras, máquinas de ejercicio). Se le podrá pedir que realice varias repeticiones de un ejercicio y/o

que lo haga una sola vez. Entre las pruebas posibles están: saltos, lagartijas o abdominales. También se podrá evaluar su velocidad y agilidad (ej. carreras de ida y vuelta).

Flexibilidad

Se podrá evaluar el movimiento de diferentes articulaciones (indicador de flexibilidad).

En algunos casos se medirá directamente usando instrumentos específicos (ej. goniómetro, flexómetro).

Evaluación cardio-respiratoria:

Estudios cardíacos, presión arterial, evaluación de arterias y flujo sanguíneo, cardiografía, índices y mediciones en diferentes puntos.

La segunda etapa se desarrollará en el gimnasio de escalada Montevideo Boulder Club. La misma consiste en realizar dos bloques de escaladas de diferente dificultad, V1 y V3, portando una máscara de oxígeno y sus accesorios, permitiendo medir el consumo de oxígeno en la actividad. Dicha etapa será programada previamente y coordinada con los y las sujetas que sean incluidos en la investigación.

Confidencialidad

La información obtenida en este estudio será guardada confidencialmente de acuerdo con la legislación vigente. En las publicaciones o comunicaciones que se vayan a realizar se resguardará el anonimato de los participantes.

Riesgos o efectos colaterales

Las pruebas a las que serán sometidos los participantes estarán acorde a sus capacidades físicas.

Los test y ejercicios que se realizarán habitualmente no implican riesgos para la salud ni la integridad física o psicológica de los participantes, más allá de los riesgos inherentes de la práctica deportiva.

En el caso del test de esfuerzo máximo en cicloergómetro o tapiz rodante, podrían llegar a ocurrir ciertas respuestas inusuales como presión arterial anormal, ritmo cardíaco muy lento o muy rápido y, raramente, algún accidente cardíaco. En todos los casos, a través de la observación y monitorización continua que realizarán los investigadores a cargo del estudio, todo esfuerzo se hará para prevenir y minimizar eventuales problemas.

Beneficios que los participantes obtendrán de este estudio

A cada participante se le entregará un informe con los resultados de la evaluación; información que eventualmente podrá ser utilizada para el ajuste o confección de su programa de entrenamiento.

Atención médica

En caso de ocurrir alguna lesión o perjuicio de salud, el servicio de emergencia que dispone la institución se hará cargo de la asistencia médica primaria.

Firma del participante

Aclaración

Firma de un investigador responsable

Aclaración

Fecha

Anexo 2

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Declaro haber leído en su totalidad la información contenida en el documento "Hoja de Información" correspondiente al proyecto titulado: “Demanda de consumo de oxígeno en escalada *boulder* realizada en dos rutas definidas: Nivel V1 y Nivel V3”, bajo la responsabilidad de los investigadores Sofia Barriola, Juan Manuel Casais y Manuela Lev. He obtenido una copia de dicho documento donde consta la explicación del procedimiento experimental, los riesgos asociados, así como también la información de contacto de los investigadores responsables. Todas mis preguntas y dudas han sido contestadas en forma completa y satisfactoria. Mi firma, que consta a continuación, indica que voluntariamente he accedido y acepto participar en este estudio.

Firma del

participante.....fecha.....

Firma de

investigadora.....fecha.....