

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ENTRENAMIENTO Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Curso Académico 2017-2018

## FACTORES DE RENDIMIENTO VINCULADOS A LAS CARRERAS POR MONTAÑA

*Performance parameters associated to mountain running races*

Autor: ALBA MARTOS SANTAMARÍA

Tutores:

JOSÉ A. RODRÍGUEZ MARROYO

JOSÉ GERARDO VILLA VICENTE

Fecha: 02/07/2018

Vº Bº TUTOR

Vº Bº AUTOR

---

## RESUMEN

---

El objetivo del presente trabajo fue determinar que variables fisiológicas analizadas en el laboratorio se relacionan con el rendimiento en las carreras por montaña. Secundariamente, valoramos el efecto de dos protocolos (en llano vs. pendiente) en la valoración de la calidad aeróbica de los corredores. Para ello, 28 sujetos que participaron en la misma carrera de 26 o 42 km fueron sometidos a varias pruebas para valorar la calidad aeróbica ( $VO_{2max}$ , umbrales ventilatorios y economía de carrera) en llano y en pendiente. Además, realizaron diferentes tests de saltos para valorar la fuerza de la extremidad inferior y su leg-stiffness. También fueron sometidos a una valoración antropométrica y rellenaron un cuestionario para determinar su resiliencia. El peso de los corredores y el sumatorio de pliegues junto con el  $VO_{2max}$  se relacionaron con el rendimiento en ambas pruebas. Sin embargo, las velocidades en los umbrales ventilatorios se relacionaron con el tiempo de prueba en la carrera de 26 km. Por el contrario, la economía de carrera fue la variable submáxima vinculada con la calidad aeróbica que se relacionó con el rendimiento en la prueba de 42 km. La valoración de la calidad aeróbica con un protocolo en pendiente mostró ser más sensible para establecer las diferencias en función del nivel de los sujetos, sobretodo en la carrera de 42 km. Además, un mayor número de variables obtenidas con el protocolo en pendiente correlacionaron con el rendimiento de los sujetos.

**Palabras clave:** carrera por montaña, valoración funcional, entrenamiento de resistencia

---

**ABSTRACT**

---

*The aim of the present study was to determine the physiological variables related to the mountain running performance. Secondly, the effect of two protocols was evaluated (in plain vs. slope) in the evaluation of the aerobic quality of the runners. In order to do this, 28 subjects who participated in the same race of either 26 or 42 km underwent several tests to assess their aerobic quality ( $VO_{2max}$ , ventilatory thresholds and running economy) in flat and sloping. In addition, they performed different jumping tests to assess the strength of the lower extremities and their leg-stiffness. They also underwent an anthropometric assessment and filled in a questionnaire to determine their resilience. The weight of the runners and the sum of the folds together with the  $VO_{2max}$  were related to the performance in both tests. However, the velocities in the ventilatory thresholds were related to the test time in the 26 km race. On the other hand, running economy was the submaximal variable, and it was linked to the aerobic quality, which was related to the performance in the 42 km test. The evaluation of the aerobic quality with a slope protocol proved to be more sensitive for the establishment of the differences according to the level of the subjects, especially in the race of 42 km. In addition, a greater number of variables obtained with the slope protocol correlated with the performance of the subjects.*

**Keywords:** *mountain race, functional assessment, endurance training*

---

## ÍNDICE

---

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1. Factores que afectan al rendimiento en las carreras por montaña .....	7
1.1.1 Determinantes fisiológicos .....	8
1.1.2 Características del terreno .....	9
1.1.4 Factores psicológicos .....	11
1.1.5 Factores ambientales.....	12
<b>2. CONTEXTUALIZACIÓN .....</b>	<b>14</b>
2.1 Evolución de las carreras por montaña .....	14
2.2 Modalidades de carreras por montaña .....	15
<b>3. OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>4. COMPETENCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>5. METODOLOGIA EMPLEADA .....</b>	<b>18</b>
5.1. Participantes .....	18
5.2. Diseño experimental .....	18
5.2.1 Carrera “Biosfera Trail 2018” .....	19
5.2.2 Resiliencia .....	20
5.2.3 Variables antropométricas .....	20
5.2.4 Valoración de la fuerza mediante los test de salto .....	20
5.2.5 Pruebas submáximas de economía de carrera .....	21
5.2.6 Tests incrementales hasta el agotamiento .....	22
5.3. Análisis estadístico.....	23
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>8. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>9. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA.....</b>	<b>37</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>38</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Tabla factores de rendimiento (Olgueta-Alday y García López, 2016).....	12
Figura 2. Perfil recorrido 26 km. Fuente: <a href="http://biosferatrail.com/">http://biosferatrail.com/</a> .....	19
Figura 3. Perfil recorrido 42 km. Fuente: <a href="http://biosferatrail.com/">http://biosferatrail.com/</a> .....	20
Figura 4. Corredor en el laboratorio.....	22
Figura 5. Test de máximo esfuerzo .....	23
Figura 6. Recogida de datos .....	23

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Resultados (media±SD) obtenidos en la prueba de esfuerzo realizada con un protocolo en llano y en pendiente.....	26
Tabla 2. Fiabilidad entre el consumo de oxígeno (VO <sub>2</sub> ), frecuencia cardiaca (FC) y percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) analizados en los test de esfuerzo sin y con pendiente. ....	27
Tabla 3. Variables analizadas durante la prueba submáxima realizada en llano y en pendiente (media±SD).....	28
Tabla 4. Comparación del rendimiento obtenido en las pruebas de esfuerzo según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km.....	29
Tabla 5. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km. ....	30
Tabla 6. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km. ....	31
Tabla 7. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 42 km. ....	32
Tabla 8. Relaciones entre el tiempo de carrera y las variables derivadas de los test realizados. ....	34

---

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Desde hace varios años el deporte, así como el entusiasmo y la motivación hacia la realización de actividades y de la práctica deportiva ha ido creciendo, teniendo poco a poco una gran repercusión en nuestra sociedad, así como una gran diversificación y progreso como consecuencia de los intereses tanto individuales como colectivos, dependiendo de las expectativas y de los objetivos particulares de los practicantes (Olivera, 2005). Teniendo todos ellos perspectivas y enfoques diferentes e individuales que van desde la salud y una práctica meramente social y sin ningún objetivo competitivo, el deseo del rendimiento de mejorar y de superación, así como un medio para poder relacionarse socialmente y encontrar el bienestar personal (García Ferrando, 2001).

Uno de los deportes que ha suscitado un mayor interés han sido las carreras por montaña. Las cuales han teniendo en los últimos años una gran aceptación en un determinado sector de nuestra sociedad, así como una masificación, lo cual ha llevado a que haya una gran participación entre la población más popular. La mayor parte de la población que participa y realiza este deporte suele tener una media de edad entre los 36 y 50 años, aumentando conforme aumenta la distancia de la competición, habiendo practicado anteriormente otras modalidades, y existiendo diferencias en cuanto al sexo siendo el número de participación masculina mucho mayor que la participación femenina (Llopis Going y Llopis Going, 2006).

Este incremento en el número de deportistas y practicantes ha tenido un gran impacto en la organización de eventos deportivos, así como a nivel socioeconómico de las carreras por montaña, todo ello ha ido generando una creciente motivación e interés en la elaboración de investigaciones de las diferentes áreas posibles a estudiar de este fenómeno.

Bataller, Marcén, Piedrafita y Arbonés (2014) afirman que la actividad física está conformada por numerosos ámbitos muy estudiados en los que sí que ha habido un interés por la investigación y por su desarrollo. Tanto en el ámbito orientado a la salud habiendo numerosas investigaciones con finalidades médicas, en dónde podemos encontrar artículos que van orientados a la relación entre la actividad física con la salud cardiovascular, las enfermedades metabólicas...etc. Como en el ámbito de la psicología deportiva habiendo numerosas investigaciones acerca de perfiles psicológicos de corredores de largas distancias, la personalidad y sus comportamientos, afrontamiento de situaciones, etc. Incluyendo numerosos estudios relacionados con las ciencias de la actividad física con la finalidad de mejora y del rendimiento que tratan sobre la nutrición, fisiología, biomecánica, etc. Otro de los ámbitos que también repercute en el deporte es el ámbito de las ciencias sociales, en las que las investigaciones tienen como metodologías de estudio, las encuestas, estudios de impacto

socioeconómico de los eventos, la repercusión de la zona y alrededores en las que se llevan a cabo.

Uno de los principales objetivos del ámbito de las ciencias de la actividad física, es poder encontrar los factores que influyen en el rendimiento deportivo. Fue a partir del siglo XX cuando empezaron a surgir estudios e investigaciones pioneras de este campo, con el matemático A.V Hill y el fisiólogo alemán Otto Meyerhoff. Los cuales empezaron desarrollar las primeras investigaciones sobre los factores limitantes que provocaba el ejercicio físico en base a diferentes estados bioquímicos, respiratorios y cardiovasculares (Matabuena, 2017).

Sin embargo, las investigaciones y artículos relacionados con el deporte con el que se ha llevado a cabo el estudio en cuestión, las carreras por montaña siguen siendo bastante escasos, aunque como se ha comentado anteriormente ha ido aumentando el interés en estos últimos años. Esto es debido a que es un deporte relativamente nuevo en España, por ello la realización de nuestro estudio, en el cual hemos querido comprobar e investigar las características fisiológicas de los corredores en base a diferentes pruebas realizadas en el laboratorio.

### **1.1. Factores que afectan al rendimiento en las carreras por montaña**

Las carreras por montaña dependen de la interacción de diferentes variables como: la intensidad, la duración de la prueba, las respuestas fisiológicas que conlleva, el terreno por el que discurre variando a lo largo de la competición, pudiendo ser más o menos técnico con grandes pendientes y bajadas, siendo muy importante regular el comportamiento locomotor en respuesta al cambio del terreno como afirman Vernillo, Savoldelli, Skafidas y Zignoli (2016), así como las condiciones ambientales, las cuales son inestables pudiendo ser muy adversas. Esto provoca que los niveles tanto de fatiga mental como muscular sean elevados, repercutiendo en el resultado y en el rendimiento de los corredores.

A continuación, se abordarán varios de ellos: determinantes fisiológicos, factores biomecánicos, características del terreno, factores psicológicos y los factores ambientales.

### 1.1.1 Determinantes fisiológicos

Al ser un deporte de resistencia las variables fisiológicas que afectan al rendimiento son: el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ), los sujetos no entrenados pueden dejar de hacer ejercicio antes de alcanzar el  $VO_{2max}$  debido a alteraciones funcionales graves a nivel muscular local (Levine., 2008), el porcentaje de  $VO_{2max}$  (%  $VO_{2max}$ ) que puede mantenerse durante la carrera, el cual se ha demostrado estar estrechamente relacionado con el umbral de lactato (LT) así como la economía de carrera, comúnmente definida como “*el gasto energético o  $VO_2$  consumido a una velocidad de carrera determinada*” (Barnes K.R., 2014).

El consumo máximo de oxígeno se define comúnmente como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo (Barbany., 2016) normalmente expresado relativo al peso corporal, el cual depende fundamentalmente de la genética siendo determinante un 70% y del entrenamiento un 30% (Olgueta-Alday y García López, 2016).

Otro de los factores fisiológicos que afecta a la carrera es el umbral anaeróbico (RCT), el cual hace referencia a la máxima intensidad de esfuerzo que un sujeto puede mantener de manera prolongada en el tiempo. Un deportista que presente un RCT más alto, podrá mantener en el tiempo una velocidad de carrera más elevada, siendo posiblemente mejor su rendimiento, habiendo una mejora en este umbral provocará una mejora en el umbral anaeróbico (Olgueta-Alday y García López, 2016).

La economía de carrera es el gasto energético o  $VO_2$  consumido a una velocidad de carrera determinada, siendo los valores típicos de los deportistas mas entrenados  $175-220ml.kg^{-1}$  llegando a superar valores de  $220ml.kg^{-1}$  en algunos deportistas, teniendo una mejor economía de carrera se tiene un menor consumo de oxígeno a la misma velocidad. Se ha visto que la economía de carrera y el  $VO_{2max}$  son variables que estan inversamente relacionadas, atletas con menor  $VO_{2max}$  lo compensan con una mejor economía de carrera (Olgueta-Alday y García López, 2016).

Las relaciones que existen entre estas variables fisiológicas y el rendimiento han sido ampliamente estudiadas, pero al encontrarnos con un deporte en donde las acciones musculares son tan específicas, sería interesante saber si estos determinantes fisiológicos están relacionados con el rendimiento teniendo en cuenta el nivel y las características de la prueba. Según un estudio de Ehrström et al. (2017) sugieren que, incluyendo un entrenamiento de potencia específico de las extremidades inferiores, puede contribuir a la mejora del rendimiento en las carreras por montaña en las zonas de pendiente positiva, por ello la importancia de la capacidad de fuerza muscular y de resistencia.

La mayoría de los estudios hasta la fecha se han centrado en analizar la distribución de la intensidad del ejercicio, así como en la estimación de la demanda energética de los participantes durante pruebas de largas distancias como son las ultramaratones de montaña. Las cuales tienen recorridos que van desde los 70 km, hasta los 100 km, e incluso podemos encontrarnos algunas las más extremas que llegan casi a los 250 km. Estos parámetros generalmente se miden con pendientes relativamente suaves (Balducci, Cléménçon, Morel, Quiniou, Saboul, y Hautier, 2016).

En un estudio de Baducci et al. (2016) se realiza una comparación con corredores por montaña en donde participan en varias pruebas en cinta con diferentes grados de pendiente. Obtuvieron como resultados que independientemente de la pendiente no hay ninguna diferencia en la potencia aeróbica máxima, manteniendo también el mismo rango de consumo máximo. También se demostró que la demanda energética variaba individualmente con la pendiente sin ser influenciada por la velocidad, excepto cuando se alcanzaba un 25% de pendiente. Esto es debido a los parámetros morfológicos de los corredores, teniendo como diferencias la fuerza del extensor de la rodilla, la longitud y la frecuencia de zancada. Demostrando que estos parámetros se pueden medir con precisión durante las pruebas de máximo esfuerzo y que los resultados son directamente transferibles a la ejecución en pendiente positiva.

También hay estudios acerca de las diferentes zonas de intensidad establecidas de acuerdo con la reserva de la frecuencia cardíaca o el ritmo cardiaco, en los umbrales ventilatorios durante eventos de 54 y 65 kilómetros (Rodríguez-Marroyo, González, Arribas y Villa, 2018). Junto con estas investigaciones se le suman, aquellas distancias con un recorrido más corto de unos 15 km siendo modelos más fiables para las investigaciones referidas al daño muscular y la fatiga (Easthope et al., 2014).

### **1.1.2 Características del terreno**

La particularidad del terreno tanto por las subidas como por las bajadas por el que discurren las carreras es un factor importante a tener en cuenta. Estas características y peculiaridades del deporte, provoca en los corredores cambios y adaptaciones fisiológicas. El poder analizar tanto las subidas como las bajadas, así como la evaluación de la fatiga muscular son pruebas fisiológicas muy importante para los corredores por montaña, por lo que hay que incorporar factores específicos como la resistencia del músculo o la economía de carrera en subida, para poder mejorar la predicción del rendimiento en este deporte (Millet y Borrani, 2017).

En relación con el terreno por el que discurren las carreras por montaña, según un estudio de Vernillo et al. (2016) muestran como los tramos con mayor pendiente positiva se caracterizan por tener una frecuencia de paso más alta, un aumento del trabajo mecánico interno y una menor oscilación aérea. Siendo predominante la acción muscular concéntrica, induciendo un menor estrés mecánico y por lo tanto un menor daño muscular (Ehrström et al., 2017). Implicando así una mayor actividad muscular en comparación con las bajadas y aumentando la demanda energética linealmente. Mientras que en los tramos de pendiente negativa se caracterizan por el aumento del tiempo de vuelo, una frecuencia de paso más reducida, un factor de trabajo menor, siendo la disipación de energía generalmente predominante en comparación con la energía que se genera (Vernillo et al., 2016). Además, hay que tener en cuenta que los terrenos montañosos por los que discurren estas pruebas son un factor determinante en la fatiga muscular.

Ehrstrom et al. (2017) comprobaron como el índice de fatiga concéntrica de los extensores de rodilla se correlaciona con el ascenso y en consecuencia con el rendimiento. Los momentos en los que el corredor se encuentra realizando acciones musculares concéntricas y excéntricas en las subidas y en las bajadas son prolongadas, provocando alteraciones mecánicas y metabólicas. Además, los marcadores de fatiga neuromuscular incluyen los extensores de la rodilla en contracción voluntaria máxima isométrica, la altura del salto en un salto de contra movimiento y la rigidez de la pierna (Balducci et al., 2017). En los tramos de pendiente positiva se produce una fuerza de frenado menor y una fuerza de propulsión mayor, produciendo un impulso de propulsión más elevado (Vernillo et al., 2016).

En los tramos más pronunciados se ha demostrado que hay tanto para caminar como para correr un rango de ángulos (20.4-35.0 °) para los cuales se minimiza el gasto de energía. Pudiendo mejorar el rendimiento y el resultado de los corredores, aunque también lo condicionan otros factores, en pendientes muy pronunciadas, los corredores pueden reducir su gasto de energía caminando en lugar de corriendo (Giovanelli et al., 2016).

Por lo que se puede concluir que los efectos de la pendiente y las respuestas musculares y fisiológicas que conllevan tienen grandes implicaciones en el éxito de los corredores (Vernillo et al., 2016). Siendo los mecanismos de fatiga muscular tanto central como periférica, así como el daño muscular mecánico grandes favorecedores a la disminución del rendimiento (Ehrström et al., 2017). El grado y el nivel de fatiga de estas acciones musculares difieren según las características de la competición en cuestión, dependiendo de la duración o el nivel de la prueba. Por lo que la implicación de los factores asociados con la fuerza, repercuten también en el rendimiento induciendo alteraciones mecánicas y metabólicas específicas.

### 1.1.3 Factores biomecánicos Leg-Stiffness

Naclerio (2014) pone de manifiesto que el ciclo estiramiento-acortamiento, es una acción única e indivisible en la cual se combinan tensiones excéntricas-isométricas-concéntricas, mejora la aplicación de la fuerza y alcanza mayor velocidad y potencia en las primeras fases de la acción concéntrica. El efecto de potenciación se debe fundamentalmente a la capacidad elástica muscular, aunque también colaboran la acción de los reflejos musculares y el mayor tiempo disponible para desarrollar la fuerza. Según Naclerio (2014) los test propuestos por Bosco, constituyen la batería de evaluación más aplicada para evaluar el rendimiento general de la fuerza explosiva de las extremidades inferiores de los deportistas. Así mismo, la rigidez de las piernas o también llamado *leg-stiffness*, es un parámetro biomecánico relacionado con el rendimiento. Durante la carrera, los principales músculos extensores de las articulaciones del tobillo y la rodilla contribuyen en más de un 70% al trabajo mecánico realizado (Sasaki et al., 2006) los consideramos una unidad de transmisión de energía, dicha energía puede disminuir la activación muscular y el gasto energético que conlleva. Por lo que se sabe que existe una relación positiva entre el *leg-stiffness*, la economía de carrera y el rendimiento. También es conocido que determinados métodos del entrenamiento de la fuerza como la fuerza máxima o la pliometría van dirigidos a algunos componentes del *leg-stiffness* según el estudio de Olgueta-Alday y García López (2016).

### 1.1.4 Factores psicológicos

Las carreras por montaña son consideradas una modalidad de fondo, dichas modalidades suponen una de las actividades más estresantes en las que un ser humano puede participar (Jaenes, Godoy y Francisco, 2008). Sobre todo, en este deporte ya que las pruebas y competiciones se suelen realizar en zonas alpinas y montañosas. Requiriendo una gran preparación física y específica, así como un enorme esfuerzo físico y psicológico. Generando en los días de competición una alteración en el estado emocional en donde los niveles de estrés, así como los parámetros de rendimiento pueden verse alterados (De la Vega et al., 2011). Ante esta situación, un factor a tener en cuenta según dicho autor es la personalidad de los participantes, y su capacidad de resistencia. La personalidad resistente según el modelo de Kabosa se basa en tres dimensiones: compromiso, control y reto. Esta personalidad parece inducir a estrategias de afrontamiento adaptativas, ante estímulos estresantes lo que puede potenciar la mejora del rendimiento y la superación (Jiménez, 2000). Por lo que ante estas investigaciones y al ser una modalidad de fondo dentro de la resistencia, en nuestro estudio se pasó a los participantes se les pasó un cuestionario de Ruiz de la Vega para poder evaluar su resiliencia y analizar la capacidad para sobreponerse y afrontar los

problemas, así como su capacidad de persistencia, para poder comprobar si influye y si está relacionado con el rendimiento, evaluando si aquellos corredores que tienen una mayor resiliencia, tienen mejores resultados que aquellos que tienen una menor resiliencia.

Aunque en el estudio De la Vega et al. (2011), de psicología del deporte en el cual participaron sujetos que habían corrido en la “Trail del Aneto” una ultramaratón alpina. Muestran que en las carreras por montaña, tener un nivel elevado de personalidad resistente no es un elemento diferenciador ya que en este deporte la interacción con los factores externos, las habilidades y las características personales de los corredores son muy significativas. Pero sí que había resultados significativos cuando se comparaban deportistas y sujetos sedentarios, siendo un elemento diferenciador (De la Vega et al., 2011).

### 1.1.5 Factores ambientales

Las carreras por montaña, es un deporte que se realiza en el medio natural por lo que los factores ambientales, así como de localización geográfica de la competición influirán en el rendimiento y en los resultados de los deportistas. Tendremos que tener en cuenta el aire o viento, temperatura, humedad, altura y la pendiente del terreno (Olgueta-Alday y García López, 2016). Según la clasificación de la revisión bibliográfica de Olgueta Alday y García López dividen estos factores en cinco grandes bloques tomando como referencias a Saunders et al. (2004) así como a Basset y Howley (2000) dichos autores agruparon y dividieron en cinco grandes grupos (ambientales, fisiológicos, biomecánicos y psicológicos) Incluyendo también la economía de carrera ya que afecta al rendimiento.

Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo				
1. Ambientales	2. Entrenamiento	3. Fisiológicos	4. Biomecánicos	5. Psicológicos
1.1. Aire/viento	2.1. Resistencia	3.1. VO <sub>2max</sub>	4.1. Antropometría	5.1. Intervención
1.2. Temperatura	2.2. Fuerza	3.2. Umbral ventilatorio	4.2. Leg-stiffness	5.2. Dirección atención
1.3. Humedad	2.3. Aclimatación calor	3.3. Economía carrera	4.3. Flexibilidad	5.3. Música
1.4. Altitud	2.4. Altura	3.4. Edad	4.4. Patrón de pisada	
1.5. Pendiente terreno		3.5. Género	4.5. Calzado	
		3.6. Fibras musculares	4.6. Ostris plantares	
		3.7. Fatiga	4.7. Parámetros e-t	
		3.8. Raza		

Figura 1. Tabla factores de rendimiento (Olgueta-Alday y García López, 2016).

Podemos concluir que cada vez son más los corredores, deportistas, así como los entrenadores que realizan esta modalidad deportiva y que por lo general sienten especial interés y empiezan a demandar herramientas y métodos más precisos y específicos para poder cuantificar y regular su entrenamiento de manera más segura. Aunque cada vez hay más estudios e investigaciones en este deporte, como se ha visto todavía queda mucho por investigar.

---

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

---

### 2.1 Evolución de las carreras por montaña

---

La Federación española de deportes de Montaña y Escalada (FEDME) define a las carreras por montaña también conocidas como *Trail Running*, como una modalidad deportiva reciente, que se puede desarrollar en alta, media y baja montaña. Aquellos deportistas que participan en estas competiciones no sólo tienen que ser rápidos, sino demostrar una enorme capacidad de resistencia. Las carreras consisten en caminar o correr diferentes distancias con un desnivel acumulado tanto positivo como negativo.

Según la clasificación “*International Skyrunner Federation*” (ISF) las pruebas se pueden dividir en varias distancias la “*Sky Classic*” que va desde 22km hasta 50kms con una pendiente de 7,5 % y con una diferencia de altitud entre ellas de 1000m y la *Sky Extra* con una distancia desde 50 kilómetros hasta 75 km con una pendiente de 6.5% y una diferencia de altitud de 1000m. Teniendo estas últimas otra clasificación independiente que irá del 1 al 3 basadas en la combinación de varios factores: altitud (promedio máximo alcanzado), cota máxima alcanzada, terreno por el que se realice la prueba (nieve/glaciar), grado II en dificultad de escalada para ciertos tramos e incremento en el porcentaje de elevación de la pendiente.

Esta disciplina deportiva surge en los años 90, el italiano Marino Giacometti fue el pionero en realizar los primeros registros y competiciones en MontBlanc y Monte Rosa en los Alpes italianos. En 1995 Giacometti fundó la Federación que regulaba este deporte, *Federation for Sport at Altitude* (FSA), pero a partir de 2008 pasó a ser la *International Skyrunner Federation* (ISF).

Las carreras por montaña tal como se conocen hoy en día no aparecen hasta el siglo XXI, en donde empieza a tener un papel importante tanto a nivel legislativo como de regulación, para asegurar la seguridad de los participantes, así como el impacto medioambiental que la organización de estos eventos, pueden repercutir en el entorno y el medio natural. Hoy en día este deporte cuenta con unas 200 carreras en todo el mundo con alrededor de 50.000 participantes de 65 países (ISF, 2018).

Los inicios en España están confusos, ya que no hay información ni datos recogidos oficiales, aunque si bien es cierto que no es hasta los años 90 cuando comienzan a organizarse las competiciones con cierta regularidad, debido a la creciente demanda. Se sabe que en el siglo XX empezaron a aparecer tanto en Cataluña como en Madrid los primeros eventos y carreras (Jiménez, 2015).

El surgimiento de estos nuevos eventos fomenta el interés por el medio natural, mejorando y abriendo poco a poco camino al desarrollo de estudios e investigaciones científicas pioneras que con el paso del tiempo ayudan a la evolución y a la mejora del rendimiento en este deporte.

## 2.2 Modalidades de carreras por montaña

---

Según el Reglamento de la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME), existen varias modalidades de carreras por montaña, entre ellas se diferencian por varios aspectos orográficos que inciden en el nivel técnico de las pruebas, como es la distancia que se tiene que recorrer el tipo de trazado, así como el desnivel positivo y negativo, dependiendo de todo ello, la homologación y dificultad varía.

En las carreras por montaña podemos encontrar varios tipos de pruebas, según el reglamento de competición de carreras por montaña de la Federación aragonesa de montañismo (FAM) la **carrera vertical**, es definido en su artículo 2.2.2.6 como *“aquella disciplina deportiva que consta de una única subida, permitiéndose un máximo de 5% de bajadas, propias de las características del terreno y no provocadas. El desnivel mínimo en subida será de 700m y la distancia máxima a recorrer, de 8 km, oscilando el porcentaje de pendiente media entre el 20% y el 45%”*.

Los **kilómetros verticales**, definidos por el reglamento de la FAM en su artículo 2.2.2.7, como *“aquella competición de 1.000 metros de desnivel que se desarrolle sobre terreno irregular de gran pendiente, y cuyo recorrido no exceda los 5 kilómetros”*.

Las **ultras de montaña**, definido por el Reglamento de la FAM en su artículo 2.3.5 como *“una prueba deportiva que se caracteriza por su desarrollo en recorridos que transcurren por caminos de baja, media y alta montaña, con una distancia mínima de 65 kilómetros y un desnivel positivo acumulado de mínimo 4.000 m. en una sola etapa. La carrera de Ultra no deberá sobrepasar inclinaciones del 40% ó dificultades técnicas de II grado”*.

Por último, están las **carreras en línea** definidas por el reglamento de la FAM en su artículo 8.2.4 como *“aquella disciplina deportiva con una distancia mínima de medio maratón (21 km), para carreras de hasta 34 km- desnivel mínimo acumulado en subida 1000 metros”*.

---

### **3. OBJETIVO**

---

El objetivo principal de este estudio fue determinar que variables analizadas en el laboratorio se vinculan con el rendimiento en las carreras por montaña en línea (media maratón y maratón).

Como objetivos específicos del trabajo nos planteamos:

- Analizar las características fisiológicas de corredores por montaña amateur.
- Determinar las diferencias existentes entre dos protocolos diferentes de valoración de la cualidad aeróbica y prescripción del entrenamiento de los corredores (llano vs. pendiente).

Los resultados derivados del presente trabajo podrán ser de gran ayuda para la planificación y el control del entrenamiento, pudiendo aportar una información útil para la prescripción de los entrenamientos y la mejora del rendimiento deportivo de los corredores, dependiendo de los umbrales obtenidos y de las características particulares de cada competición. Ya que es muy frecuente encontrarse en las carreras por montaña grandes desniveles, que condicionan el resultado y los métodos de entrenamiento.

---

#### **4. COMPETENCIAS**

---

De acuerdo al Máster de Entrenamiento y Rendimiento Deportivo de la Universidad de León, podemos establecer las siguientes competencias de orden básico que intentamos desarrollar con la elaboración de este estudio:

- Analizar la situación actual, así como la evolución, crecimiento, desarrollo e impacto que ha ido teniendo las carreras por montaña en los últimos años.
- Poner en práctica diferentes procedimientos cuantitativos y cualitativos en el diseño y en la aplicación de diferentes test de valoración para el análisis de las diferentes capacidades fisiológicas en las carreras por montaña.
- Interpretar los resultados obtenidos en el estudio para trasladar los hallazgos y conclusiones de los mismos a la programación práctica del entrenamiento deportivo enfocado a las carreras por montaña.

---

## 5. METODOLOGIA EMPLEADA

---

### 5.1. Participantes

---

Veintiocho sujetos saludables participaron en el estudio (edad,  $39.9 \pm 6.6$  años; altura,  $174.9 \pm 6.8$  cm y peso,  $73.3 \pm 7.8$  kg). Todos ellos fueron corredores de carreras por montaña de larga y media distancia de diferente nivel, condición física y edad. La experiencia en el entrenamiento y la competición en las carreras por montaña de los sujetos fue superior a los 3 años. Los sujetos fueron seleccionados de entre aquellos corredores que participaron y finalizaron la prueba oficial "Biosfera Trail" disputada el fin de semana del 14 y 15 de abril del 2018, en la localidad de Ciñera de Gordón (León). Los sujetos compitieron en la carrera en línea de media distancia, 26 km ( $n=12$ ) y de larga distancia, 42 km ( $n=16$ ). El nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba fue determinado por el "tiempo del chip" (tiempo desde el comienzo a la línea de meta). Todos los sujetos accedieron a participar en el estudio de manera voluntaria y fueron informados de los procedimientos, beneficios y posibles riesgos involucrados en el estudio antes de obtener su consentimiento por escrito.

### 5.2. Diseño experimental

---

El estudio se llevó a cabo durante cuatro semanas en horario de mañana y de tarde en el laboratorio de Valoración de la Condición Física de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de León. Primeramente, se reclutó a los sujetos que participaron previamente en una prueba de montaña "Biosfera Trail 2018". Dicha carrera estuvo compuesta por tres distancias: una corta de 8 km, una distancia media de 26 km y una distancia larga de 42km. Los sujetos que participaron en este estudio realizaron las distancias de 26 km y 42 km. Una semana después de participar en la prueba los sujetos fueron sometidos a diferentes pruebas de laboratorio para valorar diferentes aspectos vinculados con el rendimiento. Los sujetos acudieron al laboratorio en dos ocasiones, separadas por una semana. Los sujetos realizaron las pruebas de valoración en la misma franja horaria y bajo las mismas circunstancias (i.e., mismo entrenamiento previo) en ambas visitas al laboratorio. En la primera visita al laboratorio los sujetos completaron un test psicológico para determinar su nivel de resiliencia o personalidad resistente (De la Vega et al., 2011), se les sometió a un estudio antropométrico y realizaron diferentes saltos para determinar la cualidad neuromuscular (salto con y sin contramovimiento). Posteriormente, los sujetos realizaron un test submáximo para analizar la economía de carrera y una prueba incremental hasta el

agotamiento para determinar el  $VO_{2max}$  y los umbrales ventilatorios. Estas últimas pruebas fueron realizadas utilizando dos protocolos diferentes, en llano y en pendiente. Utilizando un diseño contrabalanceado, unos sujetos en la primera sesión de valoración realizaron la prueba submáxima en llano y la prueba incremental en pendiente y otros la prueba submáxima en pendiente y la incremental en llano. Durante la segunda visita al laboratorio los sujetos, después de un calentamiento estándar, realizaron un test de saltos para determinar su *leg-stiffness* y completaron el test submáximo y máximo en las condiciones opuestas a las ejecutadas en la primera visita.

### 5.2.1 Carrera “Biosfera Trail 2018”

El rendimiento en carrera se determinó a partir del tiempo oficial de prueba de la “Biosfera Trail” disputada el fin de semana del 14 y 15 de abril del 2018, en Ciñera de Gordón (León). Los sujetos habían participado previamente en las distancias ya comentadas, la prueba de 26 km y 42k m con desnivel acumulado de  $\pm 3964$  m (desnivel positivo de +1998 m y un desnivel negativo de -1966 m) y  $\pm 6935$  m (desnivel positivo de +3471 m y un desnivel negativo de -3464 m), respectivamente. Siendo una de las pruebas más duras que se organizan en el norte de España por las características tan específicas y técnicas que presentan (Figura 2 y 3).

El terreno con el que se encontraron los participantes de ambos recorridos y distancias fue un terreno muy técnico y alpino, en donde las habilidades individuales de cada corredor y la capacidad para desenvolverse en ese entorno de montaña condicionó el resultado y el tiempo final de los participantes. La altitud a la que se realizó la prueba estuvo en torno a los 1500-2000 m positivos y a veces llegando a cotas de 3000 m positivos. Lo cual puede exigir a los corredores estar bien preparados y entrenados a estas cotas y altitudes (Saugy et al., 2016).



Figura 2. Perfil recorrido 26km. Fuente: <http://biosferatrail.com/>



Figura 3. Perfil recorrido 42km. Fuente: <http://biosferatrail.com/>

### 5.2.2 Resiliencia

Los sujetos completaron el cuestionario por Ruiz de la Vega para medir su personalidad resistente. Dicho cuestionario estaba compuesto por 25 ítems, los cuales podían ser valorados con una puntuación de 1 a 7, siendo el valor de 1 muy en desacuerdo y el valor de 7 muy de acuerdo. El análisis psicométrico de la escala de resiliencia se realizó acorde a Ruiz et al. (2012).

### 5.2.3 Variables antropométricas

La valoración antropométrica se realizó según las recomendaciones de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK). Nada más llegar al laboratorio, los sujetos fueron pesados (50K150, COBOS, Hospitalet de Llobregat, Barcelona, España) y medidos (SECA, Hamburgo, Alemania). Además, se procedió a la medición de los siguientes pliegues cutáneos (HSB-BI, British Indicators LTD, West Sussex, Reino Unido): tricipital, bicipital, subescapular, axilar medio, supraespinal, iliaco, abdominal, muslo y pierna. Posteriormente y para el análisis se procedió a realizar el sumatorio de 4 (tricipital, subescapular, supraespinal, y abdominal), 6 (tricipital, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna) y 9 (tricipital, bicipital, subescapular, axilar medio, supraespinal, iliaco, abdominal, muslo y pierna) pliegues.

### 5.2.4 Valoración de la fuerza mediante los test de salto

Tras un calentamiento estandarizado para todos los sujetos (~15 min), consistente en una fase de carrera continua sobre el tapiz entre 8-10 km·h<sup>-1</sup>, una fase de familiarización con los saltos a realizar y una última fase de estiramientos, los sujetos realizaron varios saltos. En la primera visita al laboratorio se realizó un salto sin contramovimiento (Squat Jump, SJ) y con contramovimiento (Countermovement Jump, CMJ). Se realizaron 3 saltos de cada tipo y se

utilizó el mejor valor de cada uno para su posterior análisis. Todos los saltos se realizaron sobre una plataforma de contacto láser (SportJUMP System PRO, DSD Inc., León, España).

**SJ**, se realizó partiendo de una posición de semiflexión, con un ángulo de  $\sim 90^\circ$  en la articulación de las rodillas, que se mantuvo durante 4 segundos. Desde esta posición, el sujeto saltó verticalmente intentando alcanzar la mayor altura posible, sin realizar ningún tipo de contramovimiento. Con este procedimiento que se llevó a cabo se redujo la participación del componente elástico del músculo que caracteriza a todas las acciones ejecutadas con contramovimiento y se enfatizó la contribución del componente contráctil muscular (Naclerio, 2014, p.161). Las manos permanecieron sobre las caderas en todos los saltos.

**CMJ**, los sujetos realizaron el salto con contramovimiento partiendo de una posición con las piernas estiradas. La flexión de las rodillas fue libre y las manos permanecieron en la cadera de los sujetos (Naclerio, 2014, p.162). El valor obtenido en este salto fue utilizado para analizar la contribución del componente elástico por medio el índice de contribución excéntrica (i.e.,  $CMJ \cdot SJ^{-1}$ ).

**Saltos repetidos (RJ)**, en la segunda sesión de valoración los sujetos realizaron 15 saltos reactivos repetidos como proponen Delleau et al. (2004) para determinar el leg-stiffness. Los saltos se realizaron a una frecuencia de 100 bpm y las manos de los sujetos permanecieron en la cadera durante todos los saltos. Los primeros saltos no fueron usados para el análisis, permitieron al sujeto adaptarse a la frecuencia de salto requerida.

### 5.2.5 Pruebas submáximas de economía de carrera

Después de las pruebas de salto y antes del test incremental máximo los sujetos realizaron las pruebas submáximas para determinar el coste de la carrera en pendiente y en llano. La duración de las pruebas fue de 4 min y la velocidad de 12 y 8  $km \cdot h^{-1}$  (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussförf, Alemania) cuando se corrió con una pendiente del 1 (protocolo en llano) y 10 % (protocolo en pendiente), respectivamente. Durante toda la prueba se analizaron los gases respirados (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica) y la frecuencia cardiaca cada 5 s (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finlandia). También en los últimos 10 s de cada minuto de prueba se recogió la percepción subjetiva del esfuerzo de los sujetos (RPE), utilizando la escala de 0-10 de Borg (Borg, 1982). Tanto el  $VO_2$  como la FC fueron promediados cada 1 min y se utilizó el valor del último minuto de prueba para su tratamiento.



Figura 4. Corredor en el laboratorio

### 5.2.6 Tests incrementales hasta el agotamiento

Los sujetos fueron sometidos a dos pruebas maximales hasta el agotamiento sobre un tapiz rodante (h/p/cosmos Pulsar, h/p/cosmos sports & medical gmbh, Nussdorf, Alemania). El test realizado en llano comenzó a una velocidad de  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y cada 1 minuto se aumentó en  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hasta que el deportista no pudo mantener la velocidad fijada. La pendiente del tapiz permaneció fija a 1%. Cuando se realizó en pendiente el test, ésta se fijó durante toda la prueba a un 10%, siendo la velocidad inicial de  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y los incrementos de  $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada 1 min. Durante las pruebas la FC (Polar Vantage NV, Polar Electro Oy, Finlandia) y los gases respirados (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica), fueron analizados cada 5 s y respiración a respiración, respectivamente. Además, la RPE en los últimos 10 s de cada escalón fue registrada. Se determinaron los parámetros máximos alcanzados durante la prueba:  $\text{VO}_{2\text{max}}$  y frecuencia cardiaca máxima ( $\text{FC}_{\text{max}}$ ) como los valores más altos registrados cuando los datos fueron promediados cada 30 s en el caso del  $\text{VO}_2$  y el mayor valor registrado cada 5 s en el caso de la FC. Se determinaron los umbrales ventilatorios atendiendo a la metodología descrita por Davis (1985), utilizando el comportamiento de los equivalentes ventilatorios y las presiones end-tidal. Los umbrales fueron expresados en  $\text{VO}_2$ , velocidad, FC y RPE.



Figura 5. Test de máximo esfuerzo



Figura 6. Recogida de datos

### 5.3. Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. Las diferencias entre las variables obtenidas en las pruebas máximas y submáximas fueron estudiadas utilizando un análisis de la varianza de medias repetidas de dos vías (protocolo [en llano vs. en pendiente]  $\times$  distancia de la carrera [26 vs. 42 km]). Para establecer las diferencias entre el resto de las variables estudiadas (i.e., saltos, pliegues, resiliencia) en función de la distancia de la carrera [26 vs. 42 km] se utilizó un análisis de la varianza. Cuando se analizó una  $F$  estadísticamente significativa se aplicó la prueba de Bonferroni para establecer las diferencias entre medias. La prueba  $U$  de Mann-Whitney se empleó para analizar las diferencias en función del nivel de rendimiento de los sujetos. Se utilizó la mediana para dividir a los sujetos que participaron en la carrera de 26 y 42 km en dos grupos según su tiempo de carrera (<mediana vs. >mediana). Además, se calculó el tamaño del efecto por medio de la  $\eta_p^2$ . Valores de 0.01, 0.06 y 0.14 fueron considerados pequeños, moderados y grandes, respectivamente. Las relaciones entre las variables analizadas y el rendimiento en la carrera fueron evaluadas usando el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). La fiabilidad y concordancia entre las variables fisiológicas obtenidas en los test se determinó usando el coeficiente de correlación intraclass (ICC). Valores de  $p < 0.05$  fueron considerados estadísticamente significativos. La fiabilidad absoluta del consumo de oxígeno, FC y RPE en los valores máximos y en los umbrales ventilatorios

alcanzados en el test realizado sin y con pendiente fue evaluada calculando el error típico (TE) y el coeficiente de variación (CV; TE expresado como un porcentaje). El software estadístico SPSS+ v.24.0 fue usado para este análisis.

## 6. RESULTADOS

Como cabría esperar las velocidades alcanzadas en el test realizado en pendiente fueron significativamente menores ( $p < 0.001$ ) a las alcanzadas por los sujetos en el protocolo tradicional en llano. El  $VO_{2max}$  y el  $VO_2$  analizado en los umbrales ventilatorios fueron significativamente mayores ( $p < 0.01$ ) en la prueba con pendiente. La FC y RPE obtenida en los umbrales ventilatorios fue similar entre pruebas (Tabla 1). En ambas pruebas estos marcadores fisiológicos aparecieron al mismo porcentaje del  $VO_{2max}$  y velocidad máxima. En la Tabla 2 se muestran el ICC, TE y CV obtenidos al estudiar la fiabilidad del  $VO_2$ , FC y RPE máximos y hallados en los umbrales ventilatorios. Los ICC más elevados y los CV más bajos fueron hallados en la FC, lo que indica la concordancia existente entre los valores analizados en ambas pruebas. El coste energético de la carrera submáxima en pendiente fue mayor al obtenido en la prueba que se realizó en llano (Tabla 3). A pesar de este comportamiento, la FC entre pruebas no fue estadísticamente significativa. Así mismo, la RPE analizada fue similar entre pruebas. No se encontró un efecto de interacción entre la distancia de la carrera y las variables estudiadas. Los valores obtenidos fueron similares entre los corredores que participaron en la carrera de 26 y 42 km, a excepción de la FC. La FC máxima ( $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.14$ ), la obtenida en el RCT ( $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.20$ ), VT ( $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.27$ ) y en las pruebas submáximas ( $p < 0.01$ ,  $\eta_p^2 = 0.32$ ) fueron aproximadamente 10-15 pulsaciones menores en los sujetos que participaron en la distancia de 42 km.

Los sujetos de este estudio alcanzaron una altura de salto media de  $30.6 \pm 5.6$  y  $26.0 \pm 4.6$  cm en el CMJ y SJ, respectivamente. Lo que supuso que obtuvieran un índice de utilización excéntrica (i.e.,  $CMJ \cdot SJ^{-1}$ ) de  $1.2 \pm 0.1$ . Además, el stiffness medio analizado fue de  $22.6 \pm 6.4$   $kN \cdot m^{-1}$ . La puntuación de resiliencia obtenida fue de  $137.5 \pm 14.5$ , lo que se podría clasificar como una resiliencia media. Por último, el sumatorio de 4, 6 y 9 pliegues fue de  $43.3 \pm 14.1$ ,  $58.8 \pm 15.5$  y  $83.5 \pm 23.9$  cm, respectivamente. Se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.32-0.44$ ) en el sumatorio de pliegues entre los participantes de la carrera de 26 y 42 km ( $50.3 \pm 15.9$  vs.  $38.3 \pm 10.4$ ,  $67.7 \pm 16.4$  vs.  $52.3 \pm 11.3$  y  $96.2 \pm 24.5$  vs.  $74.1 \pm 19.1$  cm para los sujetos de la disciplina de 26 y 42 km en el sumatorio de 4, 6 y 9 pliegues, respectivamente).

Tabla 1. Resultados (media±SD) obtenidos en la prueba de esfuerzo realizada con un protocolo en llano y en pendiente.

	Protocolo en Llano	Protocolo en Pendiente	$\eta_p^2$	r
VO <sub>2max</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	55.4±6.0	57.6±6.7*	0.39	0.91
Velocidad <sub>max</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	17.4±1.4	11.7±1.3*	0.99	0.83
FC <sub>max</sub> (ppm)	174±12	175±12	0.01	0.93
VO <sub>2RCT</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	46.1±6.0	48.4±5.9*	0.23	0.76
%VO <sub>2max</sub>	83.1±5.1	84.0±4.6	0.01	0.50
Velocidad <sub>RCT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	14.0±1.5	9.5±1.0*	0.94	0.66
%Velocidad <sub>max</sub>	80.2±5.8	79.8±4.7	0.00	0.40
FC <sub>RCT</sub> (ppm)	159±13	161±11	0.06	0.88
%FC <sub>max</sub>	91.1±3.5	92.0±2.8	0.05	0.48
RPE <sub>RCT</sub>	6.0±1.6	5.6±1.9	0.06	0.60
VO <sub>2VT</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	35.7±3.9	38.6±5.7*	0.32	0.70
%VO <sub>2max</sub>	64.6±5.1	67.0±7.2	0.02	0.55
Velocidad <sub>VT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	10.6±1.1	7.3±0.8*	0.93	0.60
%Vel <sub>max</sub>	61.0±4.8	61.9±4.5	0.03	0.46
FC <sub>VT</sub> (ppm)	137±15	139±15	0.04	0.72
%FC <sub>max</sub>	78.5±5.1	79.7±5.5	0.03	0.56
RPE <sub>VT</sub>	3.4±1.3	3.1±1.1	0.03	0.70

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado; r, correlación de Pearson ( $p < 0.01$ ); FC, frecuencia cardiaca; RCT, umbral de compensación respiratoria (umbral anaeróbico); RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; VT, umbral ventilatorio (umbral aeróbico). \*, diferencias significativas ( $p < 0.01$ ).

Tabla 2. *Fiabilidad entre el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), frecuencia cardiaca (FC) y percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) analizados en los test de esfuerzo sin y con pendiente.*

	ICC	TE	CV (%)
$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	0.91 (0.81-0.96)	2.0 (1.6-2.8)	3.5 (2.8-4.6)
$VO_{2RCT}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	0.79 (0.59-0.90)	2.9 (2.3-3.9)	6.2 (5.1-8.4)
$VO_{2VT}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	0.63 (0.35-0.81)	3.0 (2.4-4.2)	8.6 (7.0-11.5)
$FC_{max}$ (ppm)	0.93 (0.86-0.97)	3.2 (2.5-4.4)	1.8 (1.5-2.4)
$FC_{RCT}$ (ppm)	0.91 (0.81-0.96)	3.6 (2.8-5.0)	2.7 (2.2-3.6)
$FC_{VT}$ (ppm)	0.90 (0.79-0.95)	4.6 (3.7-6.5)	3.4 (2.7-4.5)
$RPE_{RCT}$	0.61 (0.34-0.80)	1.0 (0.8-1.4)	18.5 (16.4-28.6)
$RPE_{VT}$	0.62 (0.36-0.80)	0.6 (0.5-0.8)	18.5 (18.6-32.2)

ICC, correlación intraclass; TE, error técnico de medida; CV, coeficiente de variación. Entre paréntesis se indica el intervalo de confianza al 90%.

Tabla 3. Variables analizadas durante la prueba submáxima realizada en llano y en pendiente (media±SD).

	Protocolo en Llano	Protocolo en Pendiente	$\eta_p^2$	r
VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40.2±4.2	43.4±3.0*	0.48	0.61
%VO <sub>2max</sub>	70.5±9.7	78.9±7.2*	0.64	0.75
ECO (ml·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	200.9±21.1	325.3±22.2*	0.98	0.61
ECO (kcal·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	1.0±0.1	1.6±0.1*	0.98	0.63
VO <sub>2max</sub> ·ECO <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	17.5±2.6	10.7±1.1*	0.93	0.82
FC <sub>max</sub> (ppm)	142±16	145±14	0.10	0.86
RPE (ppm)	3.1±1.2	3.2±1.1	0.01	0.52

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado; r, correlación de Pearson ( $p<0.01$ ); ECO, economía de carrera; FC, frecuencia cardiaca; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo. \*, diferencias significativas ( $p<0.001$ ).

La comparación del rendimiento en las pruebas de esfuerzo realizadas por los sujetos en función del tiempo empleado en la carrera de 26 y 42 km se muestra en la Tabla 4 y 6, respectivamente. El protocolo realizado en pendiente se mostró un poco más sensible al nivel de rendimiento de los sujetos. Además, la RPE analizada en los tests submáximos se mostró sensible al nivel de rendimiento de los sujetos en la carrera de 26 km (Tabla 5). El VO<sub>2max</sub>·ECO<sup>-1</sup> hallado en la prueba submáxima con pendiente fue significativamente menor ( $p<0.05$ ) en los sujetos con un tiempo de prueba superior a la mediana (Tabla 5). Por el contrario, los sujetos que compitieron en la prueba de 42 km presentaron los mismos valores en las diferentes variables analizadas en las pruebas submáximas (Tabla 7).

Tabla 4. Comparación del rendimiento obtenido en las pruebas de esfuerzo según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km.

		Tiempo < mediana	Tiempo > mediana	$\eta_p^2$
Protocolo en Llano	$VO_{2max}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	58.2±5.1	50.5±3.1*	0.51
	Velocidad <sub>max</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	18.9±0.8	16.4±0.4*	0.82
	Velocidad <sub>RCT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	14.8±1.9	12.7±1.0	0.98
	Velocidad <sub>VT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	11.4±1.3	9.7±0.5	0.49
Protocolo en Pendiente	$VO_{2max}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	61.8±5.3	51.2±4.1*	0.61
	Velocidad <sub>max</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	12.4±0.8	10.5±0.3*	0.77
	Velocidad <sub>RCT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	10.0±1.1	8.4±0.4*	0.57
	Velocidad <sub>VT</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	7.4±0.7	6.8±0.3	0.36

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado. \*, diferencias significativas ( $p < 0.001$ ).

Tabla 5. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km.

		Tiempo < mediana	Tiempo > mediana	$\eta_p^2$
Protocolo en Llano	VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	38.9±4.4	39.7±4.6	0.01
	%VO <sub>2max</sub>	66.7±11.6	77.7±6.5	0.42
	ECO (ml·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	194.6±21.9	198.6±22.9	0.01
	VO <sub>2max</sub> ·ECO <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	19.3±3.2	15.7±1.3	0.42
	FC <sub>max</sub> (ppm)	142±11	159±17	0.29
	RPE (ppm)	2.0±0.7	3.2±1.0*	0.35
Protocolo en Pendiente	VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	43.1±2.4	42.1±2.5	0.05
	%VO <sub>2max</sub>	74.7±8.7	83.5±5.2	0.33
	ECO (ml·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	323.6±18.2	315.9±19.0	0.05
	VO <sub>2max</sub> ·ECO <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	11.5±1.2	9.8±0.6*	0.51
	FC <sub>max</sub> (ppm)	147±11	159±15	0.19
	RPE (ppm)	2.2±0.4	3.7±1.2*	0.42

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado. \*, diferencias significativas (p<0.001).

Tabla 6. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 26 km.

		Tiempo > mediana	Tiempo < mediana	$\eta_p^2$
Protocolo en Llano	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	61.8±2.1	52.8±5.5*	0.53
	Velocidad <sub>max</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	17.8±1.6	17.1±1.4	0.05
	Velocidad <sub>RCT</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	14.8±1.5	13.8±1.0	0.18
	Velocidad <sub>VT</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	10.7±1.0	10.8±0.8	0.00
Protocolo en Pendiente	$VO_{2max}$ ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )	62.8±2.1	56.1±6.1*	0.29
	Velocidad <sub>max</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	12.8±1.5	11.5±1.1	0.23
	Velocidad <sub>RCT</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	10.2±0.8	9.4±0.8	0.21
	Velocidad <sub>VT</sub> ( $km \cdot h^{-1}$ )	8.0±0.9	7.2±0.7*	0.21

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado. \*, diferencias significativas ( $p < 0.001$ ).

Tabla 7. Comparación de las variables analizadas en las pruebas de economía de carrera según el nivel de rendimiento de los sujetos en la prueba de 42 km.

		Tiempo < mediana	Tiempo > mediana	$\eta_p^2$
Protocolo en Llano	VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	42.2±6.1	39.9±2.3	0.08
	%VO <sub>2max</sub>	67.6±11.9	71.5±6.2	0.05
	ECO (ml·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	210.9±30.6	199.3±11.4	0.08
	VO <sub>2max</sub> ·ECO <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	18.5±3.5	16.9±1.5	0.10
	FC <sub>max</sub> (ppm)	130.7±10.1	137.9±11.9	0.10
	RPE (ppm)	3.8±1.0	3.1±1.3	0.10
Protocolo en Pendiente	VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	45.9±3.0	42.7±2.9	0.25
	%VO <sub>2max</sub>	74.3±5.6	81.2±6.2*	0.27
	ECO (ml·kg <sup>-1</sup> ·km <sup>-1</sup> )	334.2±22.4	329.9±21.7	0.25
	VO <sub>2max</sub> ·ECO <sup>-1</sup> (km·h <sup>-1</sup> )	11.1±0.9	10.6±1.0	0.09
	FC <sub>max</sub> (ppm)	137.2±4.0	138.7±12.9	0.01
	RPE (ppm)	3.2±0.8	3.4±1.1	0.02

$\eta_p^2$ , tamaño del efecto calculado por medio de la eta parcial al cuadrado. \*, diferencias significativas (p<0.001).

Los valores de resiliencia, stiffness y el rendimiento en los saltos fueron similares entre los dos grupos de nivel establecidos tanto en la carrera de 26 como en la de 42 km. Sin embargo, el sumatorio de 4, 6 y 9 pliegues fue menor ( $p < 0.01$ ) en los sujetos que obtuvieron un mayor rendimiento en la prueba de 26 ( $38.0 \pm 9.3$ ,  $53.9 \pm 6.8$  y  $76.0 \pm 11.9$  cm vs.  $60.6 \pm 12.7$ ,  $79.3 \pm 12.3$  y  $113.1 \pm 18.5$  cm, en los sujetos cuyo tiempo estuvo por debajo y por arriba de la mediana,  $\eta_p^2 = 0.55$ ,  $0.65$  y  $0.62$ ) y 42 km ( $29.7 \pm 7.2$ ,  $43.7 \pm 10.0$  y  $58.6 \pm 12.1$  cm vs.  $44.0 \pm 8.2$ ,  $58.0 \pm 8.3$  y  $84.4 \pm 15.8$  cm en los sujetos cuyo tiempo estuvo por debajo y por arriba de la mediana,  $\eta_p^2 = 0.48$ ,  $0.41$  y  $0.47$ ).

El rendimiento medio obtenido por los sujetos que participaron en la carrera de 26 y 42 km fue de  $304.7 \pm 68.2$  (i.e., 5:04:43) y  $490.9 \pm 61.3$  (i.e., 8:10:55) min, respectivamente. Las correlaciones encontradas en este estudio entre el tiempo de carrera y las diferentes variables analizadas se muestran en la Tabla 8. Un mayor número de variables derivadas de las pruebas realizadas con pendiente se correlacionaron con el rendimiento de los sujetos.

Tabla 8. Relaciones entre el tiempo de carrera y las variables derivadas de los test realizados.

		26 km		42 km	
Protocolo en Llano	VO <sub>2max</sub>	-0.65	p<0.05	-0.62	p<0.05
	VO <sub>2RCT</sub>	-	-	-0.75	p<0.01
	VO <sub>2</sub> a 12 km·h <sup>-1</sup>	-0.74	p<0.01	-0.54	p<0.05
	Velocidad <sub>max</sub>	-0.91	p<0.001	-	-
	Velocidad <sub>RCT</sub>	-	-	-	-
	Velocidad <sub>VT</sub>	-0.71	p<0.05	-	-
	economía	-	-	-0.54	p<0.05
Protocolo en Pendiente	VO <sub>2max</sub>	-0.68	p<0.05	-0.56	p<0.05
	VO <sub>2RCT</sub>	-0.75	p<0.01	-0.66	p<0.01
	VO <sub>2VT</sub>	-	-	-0.69	p<0.01
	VO <sub>2</sub> a 8 km·h <sup>-1</sup>	-0.72	p<0.01	-0.54	p<0.05
	Velocidad <sub>max</sub>	-0.88	p<0.001	-	-
	Velocidad <sub>RCT</sub>	-0.87	p<0.001	-	-
	Velocidad <sub>VT</sub>	-0.69	p<0.05	0.52	p<0.05
RPE a 8 km·h <sup>-1</sup>	0.60	p<0.05	-	-	
economía	-	-	-0.54	p<0.05	
Peso	0.67	p<0.05	0.63	p<0.05	
Sumatorio 4p	0.63	p<0.05	0.67	p<0.01	
Sumatorio 6p	0.70	p<0.05	0.60	p<0.05	
Sumatorio 9p	0.64	p<0.05	0.60	p<0.05	

RCT, umbral de compensación respiratoria (umbral anaeróbico); VT, umbral ventilatorio (VT); 4p, cuatro pliegues cutáneos; 6p, seis pliegues cutáneos; 9p, nueve pliegues cutáneos.

---

## 7. DISCUSIÓN

---

La finalidad con la que se ha realizado este estudio fue poder establecer las variables que se relacionaban en mayor medida con el rendimiento según la distancia de la competición, así como analizar las posibles diferencias entre dos pruebas diferentes realizadas en llano y en pendiente, con el objetivo de poder valorar así la cualidad aeróbica y saber el método más conveniente con el cual prescribir el entrenamiento de los corredores.

Ehrström et al. (2017) realizaron un estudio en donde identificaron los determinantes fisiológicos que contribuían al rendimiento en carreras por montaña de corta distancia en donde ejecutaron un test máximo con una pendiente del 10%, obtuvieron resultados que concuerdan con los obtenidos en nuestro trabajo en donde la incorporación de factores más específicos como la pendiente mejora el rendimiento.

Varios estudios se han centrado en analizar la distribución de la intensidad del ejercicio y estimar la demanda energética durante las carreras por montaña, mediante la utilización de diferentes zonas de intensidad establecidas de acuerdo a la reserva de la FC, obteniendo que en mayores distancias la zona principal de entrenamiento es la zona 1 (Esteve-Lanao et al., 2004) con la misma finalidad de proporcionar información para basar los entrenamientos., también es sabido que la estimación de la intensidad en base a la FC no es del todo fiable ya que pueden intervenir factores fisiológicos como la hidratación, nutrición y ambientales, que pueden modificarla siendo la FC menor conforme aumentan la distancia (Rodríguez-Marroyo, et al.,2018). Dato que coincide con nuestro trabajo en donde en la prueba de 42 km las pulsaciones obtenidas eran 10-15 pulsaciones menos.

Respecto al  $VO_{2max}$  hay estudios que demuestran los resultados obtenidos, siendo el % de  $VO_2$  mayor en aquellas pruebas con pendiente (Smekal et al.,2003) otro de los factores que está asociado a la pendiente y que varía es la economía de carrera, en general es independiente de la velocidad dependiendo de la inclinación y de las características del terreno (Balducci, et al.,2016).

El hecho de que algunos sujetos aumentaron su economía de carrera menos que otros, puede explicarse por diferentes parámetros como las características antropométricas, la fuerza muscular máxima, la tasa de desarrollo de la fuerza (Balducci, et al.,2016) siendo el peso un factor delimitante en el rendimiento, como se ha comprobado en nuestro estudio.

---

## 8. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

---

Las conclusiones derivadas de los resultados del presente trabajo fueron:

El rendimiento de los corredores por montaña amateur es determinado, independientemente de la distancia de la prueba, por el peso y el  $VO_{2max}$ . Entrenamientos encaminados a su reducción o mejora, respectivamente, redundarán en un aumento del rendimiento de los corredores.

El rendimiento en las carreras en línea de media duración se vincula más con la utilización fraccional del  $VO_{2max}$ , i.e., con los umbrales ventilatorios. Sin embargo, el aumento de la distancia competitiva conlleva una mayor relevancia de la economía de carrera.

Los resultados obtenidos indican que globalmente el protocolo en pendiente para la valoración de la cualidad aeróbica puede ser más conveniente en la valoración de los corredores por montaña, sobre todo cuando la especialidad de los sujetos es la larga distancia. Este protocolo se relacionó en mayor medida con el rendimiento de los sujetos y mostró ser más sensible al nivel de los corredores.

Tanto el protocolo en pendiente como en llano pueden usarse indistintamente para la prescripción del entrenamiento en base a los umbrales ventilatorios. No hubo diferencias ni en la FC ni en la RPE entre ambos protocolos, hallándose una buena fiabilidad entre las medidas.

---

## **9. VALORACIÓN PERSONAL Y REFLEXIÓN CRÍTICA**

---

En los últimos años se ha producido un crecimiento muy importante en las carreras por montaña, siendo cada vez más los practicantes, así como las organizaciones de eventos deportivos que se inician y apuestan por esta modalidad. Todo este “boom” tiene un enfoque prioritariamente competitivo y vinculado al deporte federado, mientras que las actividades relacionadas con una perspectiva saludable como las marchas, travesías, rutas...etc son más minoritarias. Siendo un deporte que se ha masificado y popularizado en un periodo de tiempo muy breve, construyéndose sobre una estructura macrocefálica con mucha cabeza, pero poca base.

Poco a poco es un deporte que cada vez se está profesionalizando más, en donde los corredores demandan un seguimiento, así como una planificación y programación de los entrenamientos más específica de acuerdo a las características de las competiciones. Por ello la realización de este estudio, en donde se ha podido establecer las variables que se relacionan en mayor medida con el rendimiento según la distancia y el protocolo que se realice, con la finalidad de poder prescribir el entrenamiento de forma más específica. Siendo la elaboración de este trabajo adecuado para el desarrollo y crecimiento de este deporte.

Como propuesta y futuras líneas de investigación, la literatura científica relacionada con las carreras por montaña va creciendo poco a poco pero todavía no existe demasiadas investigaciones respecto a su entrenamiento ni a su planificación. Por ello, es necesario que ante un deporte tan popularizado y en pleno crecimiento como son las carreras por montaña, se investigue y se realicen estudios más específicos con el fin de abordar y desarrollar dicha modalidad.

---

## 10. REFERENCIAS

---

- Balducci, P., Clémençon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D., y Hautier A.H. (2016). Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners. *Sports Science and Medicine*. 15: 239-246.
- Balducci, P., Clémençon, M., Trama, R., Blache, Y., Hautie, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Physiology and Biochemistry*. 38(11):819-826.
- Barbany J.R (2016). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*. Barcelona, España: Editorial Paidotribo.
- Barnes K.R, y Kilding A.E. (2014). Strategies to Improve Running Economy. *Sports Medicine*. 45(1):37-56.
- Basset, D.R., y Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32(1), 70-84.
- Bataller C.V., Marcén M.C., Piedrafita T.E., y Arbonés A.I. (2014). Comparación de los perfiles de corredores de carreras populares y corredores de carreras por montaña. Simposio llevado a cabo en el XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Investigación Social Aplicada al Deporte (AEISAD), Valencia, España.
- Borg GA. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*.14: 377–381.
- Dalleau G, Belli A, Viale F, Lacour JR, Bourdin M. (2004). A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *Int J Sports Med*. 25(3):170-176.
- Davis, JA. (1985). Anaerobic threshold: A review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc*. 17: 6–18.
- De la Vega, R., Rivera, O., y Ruiz, R. (2011). Personalidad resistente en carreras de Fondo: comparativa entre ultra fondo y diez kilómetros. *Psicología del Deporte*. 20(2) 445-454.
- Easthope, C.S, Nosaka, K., Caillaud, C., Vercruyssen, y F...Brisswalter, J. (2014). Reproducibility of performance and fatigue in trail running. *Science and Medicine in Sport*.17 (2),207–211.

- Ehrström, S., Tartaruga, M.P., Easthope, C.S., Brisswalter, J., Morin, J.B., y Vercruyssen, F. (2017). Short trail running race: Beyond the classic model for endurance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 50(3):580-588.
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A.F., Earnest, C.P., Foster, C., y Lucia, A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 37(3), 496-504.
- Federación Aragonesa de Montaña y Escalada (2018). Reglamento de competición de carreras por montaña. *Federación Aragonesa de Montaña y Escalada*. Recuperado el 28/04/2018 de: <http://www.fam.es/documentos/carreras-montana/1122-reglamento-2018/file>
- Federación Española de Montaña y Escalada (2018). ¿Qué son las carreras por montaña?. *Federación Española de Montaña y Escalada*. Recuperado el 29/04/2018 de: <http://www.fedme.es/index.php?mmod=staticContent&IDf=467>.
- García Ferrando, M. (2001). *Los españoles y el deporte: prácticas y comportamientos en la última década del siglo XX*. Madrid: Consejo Superior de Deportes y Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Giovanelli, N., Ortiz, A.L., Henninger, K., & Kram, R. (2016). Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology*, 120(3), 370-375.
- ISF (2018) Historia del Trail Running. *International Skyrunner Federation*. Recuperado el 30/04/2018 de: <http://www.skyrunning.com/history/>.
- Jaenes Sánchez, J.C., Izquierdo, G.D., y Francisco Manuel J. R. (2008). Elaboración y validación psicométrica de la escala de personalidad resistente en maratonianos (EPRM). *Cuadernos de Psicología del Deporte*. 8 (2). 59-81.
- Jaenes S., J.C., Izquierdo, G.D., y González Román F.M. (2009). Personalidad resistente en maratonianos: un estudio sobre el control, compromiso y desafío de corredoras y corredores de maratón. *Psicología del Deporte*. 18(2), 217-234.
- Jiménez M.B., Hernández, G.E., Gutiérrez, y G, J.L. (2000). Personalidad resistente burnout y salud. *Escritos de Psicología*. 4: 64-44.
- Jiménez, D. (2015). *Turismo deportivo: las carreras por montaña como herramienta de desarrollo local* (trabajo final de máster). Universidad de Alicante, Alicante, España.
- Jones, A.M., y Doust J.H. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*. 14(4), 321-327.

- Levine, B.D. (2008). VO<sub>2</sub>max: what do we know, and what do we still need to know?. *Physiological Society*. 586(1), 25-34.
- Lolpis Going, D., y Llopis Going, R. (2006). Razones para participar en carreras de resistencia. Un estudio con corredores aficionados. *Cultura, Ciencia y Deporte*. 2(4). 33-40.
- Matabuena-Rodríguez, M. (2017). *Modelización estadística en pruebas de esfuerzo y Rendimiento Deportivo* (trabajo final de máster). Universidad de La Coruña, Vigo, España.
- Millet, G., P., y Borrani, F. (2017). Is the “classic model” irrelevant or incomplete for short trail running performance?. *Medicine and science in sports and exercise*. 50(3):580-588
- Naclerio F. (2014). El ciclo estiramiento-acortamiento como capacidad muscular entrenable En Grande-Rodríguez, I y Nacleiro, F. (Ed.), *Entrenamiento Deportivo, fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes*. (pp. 156-169) Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Ogueta-Alday, A., y García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 12(45), 278-308.
- Olivera, J. (2005). El deporte: fiel cronista de la cultura contemporánea. *Apunts Educación Física y Deportes*. 82: 3-4.
- Rodríguez-Marroyo, J.A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H.F., Villa, J.G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology* 50 Suppl.1:60-66.
- Ruiz, R., De la Vega, R., Poveda, J., Rosado, A., y Serpa, S. (2012). Análisis psicométrico de la Escala de Resiliencia en el deporte del fútbol. *Psicología del Deporte*. 21(1), 143-151.
- Sasaki K, Richard R., y Neptune (2006). Differences in muscle function during walking and running at the same speed. *Biomechanics*. 39: 2005–2013.
- Saunders, P. U.; Pyne. D. B.; Telford, R. D., y Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*. 34(7), 465-485.
- Saugy, J.J., Schmitt L, Hauser, A., Constantin, G., Cejuela, R., Millet, G.P. (2016). Same Performance Changes after Live High-Train Low in Normobaric vs. Hypobaric Hypoxia. *Exercise Physiology*. 7:138.
- Smekal, G., von Duvillard, S.P., Pokan, R., Tschan, H., Baron, R., Hof-mann, P., Wonisch, M., y Bachl, N. (2003). Changes in blood lactate and respiratory gas exchange measures in sports with discontinuous load profiles. *Eur J Appl Physiol*. 89(5), 489-95.

- Vernillo, G., Savoldelli, A., Skafidas, S., Zignoli, A., La Torre, A., Pellegrini, B.,...y Schena, F. (2016). An Extreme Mountain Ultra-Marathon Decreases the Cost of Uphill Walking and Running. *Exercise Physiology*. 7(530), 3-5.
- Vernillo, G., Giandolini, M., Edwards, W.B., Morin, J.B., Samozino, y Millet, G.Y. (2016). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Medicine*. 47: 615-629.