



**MÁSTER UNIVERSITARIO INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA  
ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

**ANÁLISIS DE LAS ZONAS FISIOLÓGICAS DE COMPETICIÓN EN LA MARATÓN DE  
MONTAÑA RESPECTO A LA FRECUENCIA CARDÍACA Y VELOCIDAD DE CARRERA, Y  
APLICACIONES NUTRICIONALES**

**ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL COMPETITION ZONES IN A MOUNTAIN  
MARATHON RACE REGARDING HEART RATE AND RACE SPEED, AND NUTRITIONAL  
APPLICATIONS**

Trabajo Final de Máster

presentado por

RUIZ DE ARETXABALETA PÉREZ, XABIER

Dirigido por

DRA. SÁNCHEZ COLLADO, PILAR

Codirigido por

DR. URDAMPILLETA OTEGI, ARITZ

Curso: 2017/2018

Instituto Universitario de Biomedicina (IBIOMED)

UNIVERSIDAD DE LEÓN

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>1. ANTECEDENTES</b> .....                                   | <b>3</b>  |
| INTRODUCCIÓN .....   | 3         |
| FISIOLOGÍA DE LA MARATÓN DE ASFALTO .....                      | 4         |
| FISIOLOGÍA DE LA MARATÓN DE MONTAÑA .....                      | 8         |
| NUTRICIÓN EN LOS DEPORTES DE RESISTENCIA .....                 | 8         |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                                      | <b>10</b> |
| <b>3. METODOLOGÍA</b> .....                                    | <b>10</b> |
| PARTICIPANTES .....  | 10        |
| DESARROLLO DE LA PRUEBA .....                                  | 11        |
| ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....                                     | 12        |
| <b>4. RESULTADOS</b> .....                                     | <b>12</b> |
| <b>5. DISCUSIÓN</b> .....                                      | <b>21</b> |
| <b>6. CONCLUSIONES</b> .....                                   | <b>27</b> |
| <b>7. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> ..... | <b>28</b> |
| <b>8. AGRADECIMIENTOS</b> .....                                | <b>28</b> |
| <b>9. REFERENCIAS</b> .....                                    | <b>29</b> |

## **RESUMEN**

**Introducción:** la investigación en el ámbito de la maratón de montaña es escasa, utilizándose habitualmente datos que provienen de la maratón de asfalto. **Objetivo:** determinar zonas fisiológicas de carrera en base a la frecuencia cardíaca durante una maratón de montaña y ofrecer algunas recomendaciones nutricionales. **Metodología:** participaron 20 corredores de montaña, 17 hombres y 3 mujeres, finalizando la maratón 18 de ellos. Se realizaron pruebas ergométricas previas. Durante la carrera de maratón, con 3 vueltas idénticas, se grabaron datos de frecuencia cardíaca, velocidad y recorrido. **Resultados:** la intensidad media respecto al umbral de lactato fue del  $89,58 \pm 4,78\%$ , siendo esta específicamente en los tramos llanos del  $90,78 \pm 6,22\%$ , en los de subida  $91,94 \pm 4,58\%$  y en los de bajada  $88,05 \pm 5,60\%$ . Analizando a los corredores de mayor nivel, en todos los terrenos fue cercana al 95%. Se detectaron bajadas en la velocidad de entre el 5,27% y el 11,71% entre los diferentes tramos de llano, subida y bajada de las 3 vueltas, evidenciando una disminución del rendimiento, pero sin una bajada importante de la frecuencia cardíaca, especialmente entre los primeros. **Conclusiones:** la intensidad relativa en la maratón de montaña es elevada, provocando una bajada de rendimiento, principalmente por factores periférico-musculares en corredores de mayor nivel, añadiéndose también fatiga cardiovascular en los de menor nivel. Los primeros clasificados mantienen una alta intensidad en todos los terrenos, siendo esta mucho mayor en las bajadas respecto a los más lentos. Se deberá consumir una cantidad suficiente de carbohidratos y mantener una hidratación adecuada en carrera.

**Palabras clave:** maratón de montaña, fisiología, rendimiento

## **ABSTRACT**

**Introduction:** it exists a lack of investigation relating to mountain marathon, being usual to use road marathon data. **Objective:** to define running physiologic zones, based on the heart rate during a mountain marathon and provide some nutritional advices. **Methods:** 20 trail runners started the marathon (17 men and 3 women), while 18 of them finish it. All of them complete some treadmill tests before the marathon, and during it, consisting in 3 identical laps, data about heart rate, speed and track was recorded. **Results:** average intensity regarding to the lactate threshold  $89,58 \pm 4,78\%$ , being specifically  $90,78 \pm 6,22\%$  in the flat sections,  $91,94 \pm 4,58\%$  in the ascents and  $88,05 \pm 5,60\%$  in the descents. Analyzing only the best runners data, the intensity was near 95% in all type of terrains. It was a speed loss between 5,27% and 11,71% in the different flat, ascent and descent sections along the 3 laps, demonstrating a performance loss without an important decline of the heart rate, specially in the group of the fastest runners. **Conclusion:** in a mountain marathon the relative intensity is high, causing a performance loss, mainly because of muscular peripheral factors in the fastest runners, while in the slowest also was detected cardiovascular fatigue. Best ranked runners maintained a high intensity in all type of sections, being it specially and significantly higher in descents in relation to the last ones. Runners taking part in a mountain maratón should consume an enough carbohydrate quantity, and follow an appropriate hydration plan during the race.

**Key words:** mountain marathon, physiology, performance

## **1. ANTECEDENTES**

### ***Introducción***

No cabe duda que, durante los últimos años, las carreras por montaña han sufrido un auge importante. A pesar de que aún hoy se trata de una disciplina con un nivel de profesionalización poco significativo, son cada vez más los deportistas que invierten un gran número de horas en su preparación. Es por ello que existe un creciente interés en profundizar en el conocimiento de las características determinantes del rendimiento en este tipo de carreras, ya que de ello depende en gran medida que los profesionales dedicados a la planificación del entrenamiento puedan diseñar estrategias efectivas que conduzcan a la obtención de resultados y la mejora continua de los deportistas. Así mismo, el más amplio conocimiento acerca de la fisiología de las carreras por montaña será de gran importancia para mejorar las estrategias nutricionales y de recuperación, para que los deportistas puedan afrontar con garantías no sólo las carreras, sino las continuas sesiones de entrenamiento.

La literatura científica ha estudiado ampliamente a lo largo de las últimas décadas las principales características en cuanto a la fisiología de competición y entrenamiento de las maratones de asfalto (Billat, Bernard, Pinoteau, Petit & Koralsztein, 1994; Billat, Demarle, Paiva & Koralsztein, 2002; Emmet, 2007; Kratz et al, 2002; Legaz Arrese, Munguía Izquierdo & Serveto Galindo, 2006; Leibar, Arratibel & Abellán, 1994; Leibar, Arratibel, Lekue & Aramendi, 2004; Santos-Lozano, Sánchez Collado, Foster, Lucia & Garatachea, 2014; Santos-Lozano et al., 2015; Sjödín & Svedenhag, 1985, Tam et al, 2012; Urdampilleta, Sánchez & Martínez, 2013), como vía para la optimización en la gestión de los esfuerzos en carrera, así como herramienta para una mejor y más inteligente planificación deportiva encaminada a la obtención de unos resultados óptimos.

Sin embargo, en el caso de las carreras de montaña, y en concreto la maratón en este terreno, existen pocas investigaciones y los datos de los que pueden disponer tanto deportistas como técnicos para su aplicación práctica a la hora de planificar sus entrenamientos y carreras son escasos. Aunque se han realizado algunas investigaciones al respecto (Egocheaga, 2005), tanto los parámetros analizados como la metodología utilizada en ocasiones son limitados al no incluir puntos intermedios de control, así como en ocasiones se dirigen más al análisis de otros parámetros como son los bioquímicos, antropométricos, de fuerza u otros (Clemente-Suárez, Ramos Campo & González-Ravé, 2010b; Clamente-Suárez, 2011; Clemente-Suárez, 2017; Rousanoglou et al., 2016). También existe documentación referente a carreras de montaña de ultrarresistencia o más cortas que la maratón (Casa et al, 2010; Clemente-Suárez, Martínez Valencia, Parrilla Briega & González-Ravé, 2010a; Knechtle, Nikolaidis, Zingg, Rosemann & Rüst, 2017; Nebot et al, 2015; Saugy et al, 2013; Tam, Hew-Butler, Papadopoulou, Nolte & Noakes, 2009; Vernillo et al, 2016), que aún pudiendo constituir una primera referencia, no es esperable que presenten resultados extrapolables a los de una carrera de maratón, ya que la fisiología de las carreras difiere en gran medida en función del tiempo de duración de la prueba.

Una primera aproximación al análisis de este tipo de carreras y su entrenamiento, se ha venido realizando a partir de los datos extraídos de los estudios al respecto de la maratón de asfalto anteriormente mencionados y otros similares. Ello supone un problema a la hora de afrontar el entrenamiento y planificación de carrera aplicado a la propia prueba de maratón de montaña, ya que debido al terreno y duración habitual de este tipo de pruebas, es de esperar que el esfuerzo tanto a nivel fisiológico como periférico-muscular varíe significativamente respecto a las pruebas realizadas en asfalto y con terrenos relativamente llanos.

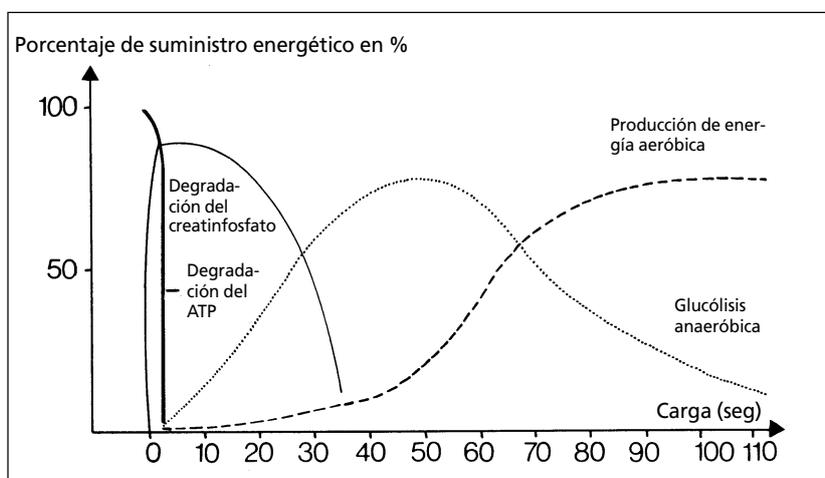
Existen algunas similitudes, pero también notables diferencias entre las maratones de asfalto y montaña. La maratón de asfalto es una carrera de resistencia de larga duración, que se realiza a pie y consta de una duración de 42,195km (Urdampilleta et al, 2013). En este sentido, la similitud es máxima, ya que aunque la maratón de montaña tiene cierta flexibilidad en la distancia recorrida, siempre será muy cercana a esos 42,195km. Pero mientras según estos mismos autores, habitualmente en las maratones de asfalto el primer clasificado suele invertir un tiempo de entre 2:05:00 y 2h:10:00 y el tiempo medio de todos los participantes se puede situar alrededor de las 3:30:00 y las 4:00:00, se debe señalar que en el caso de las maratones de montaña estos tiempos son impensables y es habitual ver una duración de carrera de los ganadores por encima de las 4:00:00 o incluso más, y tiempos medios en carrera de más de 6:00:00 o 6:30:00. Estamos hablando, por tanto, de una duración que casi dobla en tiempo la de la maratón de asfalto.

Por otro lado, en el caso de la maratón de asfalto, se trata de un tipo de carrera en la que no se puede hablar de importantes desniveles. Si bien es cierto que existen maratones de asfalto que sí acumulan un cierto desnivel, lo cual se refleja notablemente en el tiempo final, no es una de las características habituales a destacar en estas pruebas. Sin embargo, en las maratones de montaña, lo habitual es que el desnivel acumulado supere los 4000m (teniendo en cuenta +2000m de desnivel positivo y -2000m de desnivel negativo), llegando incluso a desniveles acumulados cercanos a los 9.000m (por ejemplo en el Maratón de los Pastores de Portudera que se celebra en Asturias). Este aspecto conlleva unas características determinadas tanto en la forma de correr como en la preparación necesaria para afrontar tanto los desniveles positivos como negativos que se deben afrontar, ya que los requerimientos a nivel fisiológico y periférico-muscular presumiblemente no serán iguales dependiendo del terreno en el que se muevan los deportistas.

Tendremos, por tanto, por un lado las carreras de maratón de asfalto, habitualmente llanas y por tanto con un ritmo más constante y unos requerimientos concretos, que diferirán en gran medida de los necesarios para las carreras de montaña en las que se afrontan continuos cambios de terreno, no sólo en lo que al tipo de firme se refiere sino también en lo que a la pendiente se refiere (cuesta arriba, cuesta abajo y llanos). Por ello será de vital importancia conocer cuales son dichos requerimientos concretos, con el objetivo de poder planificar los entrenamientos de la forma más ajustada posible, y dirigidos a la mejora de los aspectos clave a mejorar para aumentar el rendimiento de forma óptima.

### ***Fisiología de la Maratón de Asfalto***

Tal como se ha escrito en la literatura científica durante las últimas décadas (Billat, 2002; Costill, 1972; Earle & Baechle, 2008; López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006; Manno, Manno & Ricard i Pidelaserra, 1991; Platonov, 2001; Siff & Verkoshansky, 2004; Van Handel & Puhl, 1983; Weineck, 2005; Wilmore & Costill, 2004), en el entrenamiento y carreras en deportes de resistencia, cuando hablamos de la fisiología de los mismos, es de vital importancia tener en cuenta los sistemas energéticos de los que se vale el organismo humano y sus características en cuanto a utilización de unos u otros en función del tipo de esfuerzo y su duración. El cuerpo humano produce energía a través de tres sistemas distintos, los cuales aportarán dicha energía con una contribución mayor o menor en cada momento en función de la intensidad de la actividad y la disponibilidad de sustratos. El máximo potencial de cada uno de estos sistemas en cada individuo estará determinado a través de factores genéticos, pero la cantidad de ese potencial que se puede llegar a alcanzar la determina el entrenamiento (Endicott, 1992). El momento en el cual cada sistema entra en juego vendrá determinado por una combinación de la intensidad y duración del ejercicio, y también de la duración del tiempo de descanso. Los tres sistemas son los siguientes: sistema anaeróbico aláctico (ATP-PC), que funcionará a máxima intensidad y durante períodos cortos de tiempo; el sistema anaeróbico láctico (Ácido Láctico), que funcionará a una intensidad muy alta durante un período de tiempo más largo; y el sistema aeróbico (O<sub>2</sub>), el cual funcionará a una intensidad menor pero que puede ser mantenido por periodos de tiempo mucho más largos (**figura 1**).



**Figura 1:** contribución de los sistemas de energía durante los esfuerzos máximos de diferente duración (de Keul, Doll y Keppler, 1969, citados por Weineck, 2005)

Tal como se observa, cada sistema se puede dividir en Potencia y Capacidad, dependiendo de la liberación de la energía, más inmediata en el caso de la primera, y más mantenida en el caso de la segunda. El deportista se situará uno u otro punto dependiendo de la distancia de entrenamiento y/o competición. En el caso de las pruebas de corta duración, tendrán un alto componente anaeróbico, para las pruebas de media duración ya el componente aeróbico será significativamente mayor que el anaeróbico aunque con una incidencia importante de este último en el rendimiento, y en el caso de las pruebas de larga duración el componente aeróbico será el predominante, con unas pequeñas aportaciones del sistema anaeróbico (Ruiz de Aretxabaleta, 2014).

Teniendo como objetivo el análisis de la intensidad a la que se corre durante las pruebas de maratón de montaña para poder planificar los entrenamientos sobre una base realmente específica, se considera oportuno el fijar los criterios en base a los cuales se va a realizar dicho análisis.

Para ello habrá que definir cuáles son las zonas de intensidad del entrenamiento que vamos a tener en cuenta a la hora de cuantificar la misma según su efecto fisiológico. Tal como indica Ruiz de Aretxabaleta (2014), la distribución de las intensidades del entrenamiento en diferentes zonas se lleva recomendando en publicaciones de entrenamiento durante muchos años (Gaskill, 1998 & Noakes, 2001, citados por Seiler y Kjerland, 2006, p.49), habiéndose estandarizado una escala de 5 zonas de intensidad, habitualmente basada en valores de frecuencia cardíaca y/o concentración de lactato en sangre (**tabla 1**).

| Zona de intensidad | VO <sub>2</sub> (%max) | Frecuencia cardíaca (%max) | Lactato (mmol*L <sup>-1</sup> ) | Duración del esfuerzo en zona |
|--------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| AE0                | 45-65                  | 55-75                      | 0.8-1.5                         | 1-6 h                         |
| AE1                | 66-80                  | 75-85                      | 1.5-2.5                         | 1-3 h                         |
| AE2                | 81-87                  | 85-90                      | 2.5-4                           | 50-90 min                     |
| AE3                | 88-93                  | 90-95                      | 4-6                             | 30-60 min                     |
| AE4                | 94-100                 | 95-100                     | 6-10                            | 15-30min                      |

**tabla 1:** escala típica de 5 zonas de intensidad para planificar y monitorizar el entrenamiento en deportes de resistencia (elaboración propia, adaptado de Seiler et al., 2009)

Centrándonos en el análisis de las carreras de maratón, y siendo el maratón de asfalto la referencia más cercana y estudiada a la que se tiene acceso, tal como se ha comentado suele tomarse como modelo en numerosas ocasiones a la hora de analizar las maratones de montaña y planificar el entrenamiento para la mejora del rendimiento en este tipo de carreras.

Como cabe esperar, dependiendo del tiempo empleado en finalizar la prueba y el nivel de entrenamiento del corredor, habrá una mayor predominancia en la utilización de los hidratos de carbono como sustrato energético, o se combinará en mayor medida con la utilización también de las grasas, dependiendo este aspecto de la intensidad a la que se corre y en qué punto se sitúan los umbral aeróbico y de lactato del deportista, tal como apuntan Urdampilleta y Roche (2015a). Por tanto, a la hora tanto de entrenar como de desarrollar una estrategia de carrera con tiempos de paso y también una planificación nutricional ajustada (en el día a día, los entrenamientos y la carrera), será de gran importancia conocer los umbrales del deportista para poder fijar sus zonas fisiológicas en el esfuerzo y poder estimar qué tipo de sustratos utilizará de forma mayoritaria y cual será su gasto energético en función del ritmo. Así se podrá estimar cual será el ritmo que cada corredor sería capaz de soportar en carrera sin desfallecer de la manera más ajustada posible (Urdampilleta, Giménez & Roche, 2015a; Urdampilleta, Giménez & Roche, 2015b).

Uno de los factores determinantes del rendimiento en carreras de larga distancia es el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max), existiendo una relación significativa entre el rendimiento en la maratón de asfalto y la capacidad aeróbica en el caso de ambos sexos (Maughan & Leiper, 1983). Los deportistas con un mayor rendimiento en carreras de maratón de asfalto muestran unos mayores valores de VO<sub>2</sub>max, situándose éste por encima de los 70ml\*kg<sup>-1</sup>\*min<sup>-1</sup> en hombres y por encima de los 60ml\*kg<sup>-1</sup>\*min<sup>-1</sup> en mujeres (Boileau,

Mayhew, Riner & Lussier, 1982; Giménez & Barbany, 2015; Helgerud, 1994; Maughan & Leiper, 1983; Pollock, 1977; Rusko, Havu & Karvinen, 1978; Saltin & Astrand, 1967; Svedenhag & Sjödin, 1984; Tanaka, Nakamodo, Fukuda & Watanabe, 1988).

Se ha constatado a lo largo de la literatura científica que los maratonianos más rápidos son capaces de correr en una intensidad correspondiente al 68% de su  $\text{VO}_2\text{max}$  o mayor durante toda la prueba con una media aproximada del 75% (Föhrenbach, Mader & Hollman, 1987; Maron et al., 1976, citados por Tanaka et al 1988; Maughan & Leiper, 1983; Tanaka & Matsuura, 1984), lo cual puede provocar una depleción de las reservas de glucógeno muscular, la cual puede llegar a agotarse en términos de utilidad entre los kilómetros 30 y 35 de la prueba. Las velocidades de carrera de estos deportistas corresponderían a un nivel de entre  $51\text{-}55\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  para hombres y alrededor de los  $42\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  para mujeres (Costill & Fox, 1969; Maughan & Leiper, 1983; Tanaka & Matsuura, 1984). Esto supondría que los corredores más lentos deberían mantener una intensidad cercana a su máximo para poder desplazarse a esta velocidad. Por tanto, los resultados mostraban, en dichos estudios, una relación positiva y significativa entre el ritmo medio de carrera y el % de utilización de la capacidad aeróbica tanto en hombres como en mujeres.

Probablemente debido a ello, lo que realmente influencia en mayor medida el rendimiento es el porcentaje del  $\text{VO}_2\text{max}$  que es capaz de mantener el deportista durante la carrera (Basset & Howley, 2000; Costill, Thomason & Roberts, 1973). Este porcentaje estará estrechamente relacionado con el  $\text{VO}_2$  medido en el umbral de lactato, por lo que este último será el factor más a tener en cuenta a la hora de valorar el posible rendimiento en pruebas de resistencia, como es el caso de la maratón tanto de asfalto como de montaña.

Esto es debido a que el  $\text{VO}_2\text{max}$  se encuentra limitado básicamente por factores cardiovasculares centrales, mientras el porcentaje del mismo que se puede mantener durante la prueba deportiva está conectado básicamente a las adaptaciones periférico-musculares resultantes del entrenamiento (Basset & Howley, 2000).

En esta misma línea, diferentes autores han sostenido a lo largo de la literatura científica que entre un 59% y un 74% de las diferencias en el rendimiento de los corredores pueden ser explicadas únicamente en términos de  $\text{VO}_2\text{max}$  (Billat et al., 2001; Costill, 1976; Foster, Daniels & Yarbrough, 1977; Hagan, Smith & Gettman, 1981; Sjödin & Svedenhag, 1985), por lo que deben existir otros factores que, junto con el mismo, sean responsables de estas diferencias. En este sentido, Sjödin y Svedenhag (1985) afirman que añadiendo el factor de la economía de carrera (entendida esta como el consumo de oxígeno a intensidades submáximas), aumentan este porcentaje al 84%, y añadiendo aún a ellos la fracción de utilización del  $\text{VO}_2\text{max}$  en la intensidad de carrera, se podrían explicar un 98% de las diferencias en el rendimiento de carrera. Sin embargo, según afirman estos dos autores, el factor que por sí sólo mejor puede explicar o predecir las diferencias en el rendimiento de la maratón, es el umbral de lactato, ya que tomando este como única referencia se puede explicar el 92% de las diferencias de rendimiento. En consonancia con esta afirmación, Tanaka y Matsuura (1984) determinaron que no existían diferencias significativas entre la velocidad media mantenida durante la maratón y la velocidad en el umbral de lactato, por lo que en base a ello se podría afirmar que la velocidad que los corredores pueden mantener durante una prueba como la maratón de asfalto, se corresponde en gran medida con la velocidad medida en su umbral de lactato. Por tanto, dicho umbral será un buen elemento predictor del rendimiento en carreras de maratón de asfalto, concretamente la velocidad en el umbral.

En la maratón de asfalto, por tanto, los deportistas experimentados y entrenados se desplazan a una intensidad submáxima, ligeramente por debajo de la intensidad del umbral de lactato, por lo que entre dos corredores en igualdad de  $\text{VO}_2\text{max}$ , aquel cuyo umbral de lactato se sitúe más cercano a dicho  $\text{VO}_2\text{max}$  tendrá un rendimiento mayor en carrera ya que podrá mantener una intensidad mayor durante la misma, a no ser que su factor de economía de carrera sea muy deficiente o incurra en otros errores como una mala gestión de la hidratación y/o alimentación (Urdampilleta et al., 2013).

Unido a esta última afirmación, y aunque no hablan de la velocidad en el umbral de lactato, sino a concentraciones de lactato de  $2,5\text{mmol/L}$  y  $3\text{mmol/L}$ , Föhrenbach, Mader y Hollmann, W. (1987) también detectaron una alta correlación entre dicha concentración y el rendimiento en el maratón de asfalto. Es por ello que afirman que parece que velocidades que corresponden a una concentración de lactato de entre 2 y 3  $\text{mmol/L}$  serían las que corredores bien entrenados podrían mantener durante un maratón de asfalto.

También se expresan en esta línea Leibar et al. (1994), quienes afirman que será de gran importancia determinar la velocidad de carrera del deportista en estos niveles de lactato, para fijar el ritmo al que podrá realizar la prueba de maratón.

Los competidores más lentos se desplazan a un ritmo que requiere no sólo un costo de oxígeno total menor, sino también una carga de trabajo relativo menor. Este aspecto tiene su lógica teniendo en cuenta que, tal como demostraron Davies & Thompson (1979), existe una relación inversamente proporcional entre la fracción de capacidad aeróbica que se puede mantener y el tiempo de carrera, por lo que a medida que aumenta el tiempo invertido en finalizar la prueba, la intensidad relativa disminuye. Por tanto, en deportistas completando una misma prueba de resistencia, pero invirtiendo diferentes tiempos para finalizarla, encontraremos una diferente utilización relativa de su capacidad aeróbica, disminuyendo ésta según baja el nivel del competidor.

Resumiendo lo anteriormente descrito, podríamos decir que los factores que pueden influir en el rendimiento de la maratón de asfalto de forma mayoritaria son el  $VO_2\text{max}$ , la eficiencia energética y la posibilidad de mantener un ritmo en una zona elevada de % respecto al  $VO_2\text{max}$  durante toda la prueba, es decir, lo más cercano al umbral de lactato posible (Alonso & Campo, 2002; Maughan & Leiper, 1983; Tam et al., 2012), siendo este último factor posiblemente el más influyente.

Cabe mencionar que existen también estudios que discrepan de las anteriores afirmaciones, como el publicado por Billat et al. (2001), en el que se encontró que en maratonianos hombres de alto nivel el único factor estadísticamente relacionado con el rendimiento era el  $VO_2\text{máx}$ , explicando dicho rendimiento en un 59% de los casos, pero no encontrando relación con la economía de carrera ni la fracción de utilización del  $VO_2\text{max}$  en carrera. En el caso de las mujeres no encontraron relación entre el rendimiento y ninguno de los factores mencionados, incluido el  $VO_2\text{max}$ .

Teniendo en cuenta que el consumo de oxígeno al que corre un deportista no es posible medirlo de forma continuada e instantánea durante la maratón, a la hora de medir la intensidad del ejercicio de carácter aeróbico, la frecuencia cardíaca puede ser un indicador adecuado. Esteve (2004) en un estudio con corredores determinó que en una carrera como la maratón, esta se situaba como media alrededor del  $88\pm 2\%$  de la máxima, con picos de incluso el  $94\pm 2\%$ .

Así mismo, en carreras como la maratón de asfalto, las cuales se corren en condiciones de asfalto plano, es decir, habitualmente sin desniveles excesivos que puedan condicionar el ritmo de carrera de forma importante, la velocidad de carrera también puede ser un indicador que nos permita fijar y analizar la intensidad. Así, diversos autores han determinado que la velocidad de carrera durante la maratón en corredores entrenados se sitúa en un 98-98,5% de la velocidad de carrera en su umbral de lactato (Tanaka & Matsuura, 1985; Tanaka et al., 1988).

Al respecto de posibles variaciones del rendimiento a lo largo de la carrera, reflejado este en el mantenimiento o no de la velocidad de carrera, Santos-Lozano et al. (2014), estudiaron los ritmos de carrera durante el maratón de asfalto de New York. Entre sus hallazgos se denotó una reducción del ritmo de carrera según avanzaban los kilómetros, siendo esta menor en el caso de los corredores de mayor nivel (con una media del coeficiente de variación de 6,56% para las mujeres y 7,78% para los hombres) respecto a los corredores más lentos (13,1% para las mujeres y 14,41 para los hombres). Tal como indican, esto puede ser debido a una mayor habilidad de los deportistas de mayor nivel para mantener el ritmo hasta momentos más avanzados de la carrera, una mejor gestión de los ritmos al inicio de la carrera, un mayor nivel de entrenamiento previo, un más rápido agotamiento de las reservas de glucógeno, una hipertermia más marcada y otros motivos. Por el contrario, se detectó un aumento del ritmo de carrera por parte de los corredores más lentos en los dos últimos kilómetros, mientras que los deportistas de mayor nivel no subieron su ritmo. Esto puede ser debido a que los corredores de mayor nivel gestionan mejor el mantenimiento de un ritmo más sostenido, sin altibajos, y a que su objetivo habitualmente se encamina a la obtención de una posición determinada en carrera que puede estar ya definida al llegar a los kilómetros finales, mientras que los corredores de menor nivel habitualmente gestionan peor los ritmos y como objetivo suelen tener la obtención de una marca determinada, lo cual les lleva a aumentar el ritmo final para tratar de alcanzarla.

### ***Fisiología de la Maratón de Montaña***

En cuanto a los datos disponibles en la literatura específicamente al respecto de las carreras de maratón de montaña, Egocheaga (2005) llevó a cabo una investigación en una maratón de montaña, realizando previamente pruebas ergométricas de determinación de parámetros fisiológicos, y tomando también datos fisiológicos durante la prueba en varios de sus puntos, por lo que resulta de gran interés en el caso que nos ocupa. En su caso, encontró que las FC en zona de umbral de lactato de este tipo de deportistas se situaba entre el 87% y el 90% de su frecuencia cardíaca máxima, situándose así mismo la FC media durante la realización de la maratón de montaña, entre un 95% y un 97% de las FC en el umbral de lactato. De los resultados de esta misma investigación, se desprenden unas intensidades medias de entre un 85% y un 87,5% de la FC respecto a su FC máxima durante los test previos, siendo el promedio de  $86,02 \pm 0,96\%$ , con picos de entre 94% y 98,5%, siendo la media de dichos picos máximos de  $96,55 \pm 1,88\%$ . Por tanto, y teniendo en cuenta los valores señalados por Esteve (2004), se podría afirmar que, a pesar de tratarse de pruebas de una duración muy dispar, los valores de frecuencia cardíaca son razonablemente similares en pruebas de maratón tanto de asfalto como de montaña, aunque siendo algo menores en las medias y algo mayores en los picos respecto al máximo.

No se han encontrado datos relativos a la velocidad de carrera respecto a la velocidad en el umbral de lactato en carreras de montaña, para poder compararlos con los de la maratón de asfalto, probablemente porque en este tipo de carreras la orografía del terreno y el desnivel acumulado influyen en gran medida en la velocidad.

### ***Nutrición en los Deportes de Resistencia***

En lo correspondiente a la nutrición, existen diversos factores limitantes en la maratón, como son la depleción de los depósitos de glucógeno muscular, la deshidratación, la hiponatremia o los problemas gastrointestinales (Jeukendrup, 2011).

Según Martínez-Sanz, Urdampilleta y Mielgo-Ayuso (2013) en la realización de pruebas deportivas de larga duración, como puede ser el caso de la maratón de montaña, la, teóricamente, menor intensidad a la que se desarrollan propicia que el combustible prioritario sea lipólisis de los lípidos intramusculares, aunque siempre en función del perfil de desnivel de la prueba, que puede propiciar la utilización también de la glucólisis en diferente medida. También mencionan que en deportistas de resistencia que entrenan a diario el gasto energético en términos de hidratos de carbono se puede situar entorno a los 5-7gHC/Kg peso/día, llegando incluso a los 9-11gHC/Kg peso/día en fase competitiva o días en los que doblan entrenamiento diario, aunque para llegar a estas cantidades se ha visto que es necesario entrenar el sistema digestivo (Jeukendrup, 2017). Por tanto estos depósitos de glucógeno muscular deberán ser restaurados posteriormente al entrenamiento y/o competición. Además una buena hidratación es de vital importancia para alcanzar maximizar el rendimiento deportivo, de cara a restablecer la homeostasis del organismo por la pérdida de agua y electrolitos.

En este sentido, y para completar las recomendaciones en cuanto a macronutrientes se refiere, Martínez-Sanz et al. (2013) indican unas necesidades de proteína en la dieta de no más de 1,8gr/kg peso/día, e incluir un 20-35% de la ingesta energética mediante lípidos, y prioritariamente a través de grasas monoinsaturadas.

Por tanto, la alimentación e hidratación tanto en la dieta habitual como durante la prueba serán de vital importancia a la hora de maximizar el rendimiento en la misma. Además, según lo anteriormente comentado, es evidente que estos factores también contribuyen a la recuperación posterior, y aunque en este documento las recomendaciones nutricionales se dirigen principalmente al rendimiento en la propia carrera y el factor de recuperación no se aborda directamente, deberá tenerse en cuenta el reabastecimiento de los depósitos de glucógeno tras el esfuerzo.

Será importante llegar al inicio de la prueba con altos niveles de reservas de glucógeno muscular, así como niveles adecuados y correctos de hidratación corporal (Jeukendrup, 2011; Martínez-Sanz et al., 2013), mediante una adecuada ingesta de líquidos con la toma de 5-7ml/kg de líquido durante las 4 horas previas a la carrera y una alta ingesta de carbohidratos, realizando una buena carga previa de carbohidratos durante los días anteriores a la carrera ( $5-12\text{gr} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ). Durante la propia carrera debe intentar evitarse una

deshidratación que desemboque en una pérdida de peso corporal mayor del 2-3%, y realizar una ingesta de entre 60-90 gramos de hidratos de carbono por hora de duración. Esto dependerá de la tolerancia individual y, siempre que sea posible podría ser interesante aumentar esta ingesta incluso hasta el límite superior de 90 gramos por hora. Esta podrá realizarse a través de alimentos como por ejemplo plátanos o membrillo, geles deportivos y/o bebidas isotónicas para aportar también sales minerales.

Nebot et al. (2015) estudiaron los efectos de la hidratación en los corredores de montaña, diferenciando además entre la ingesta únicamente de agua y la de bebidas deportivas (concentración de hidratos de carbono al 11%). Aunque se realizó sobre una distancia de media maratón, los resultados obtenidos son de gran interés, ya que entre ellos se concluye que los deportistas amateur de carreras por montaña no se hidratan de forma adecuada, ya que tanto en el caso de ingesta de agua como de bebidas deportivas, se produjo una pérdida de peso corporal cercana al 3% durante la prueba, por tanto entrando ya en una pérdida indicativa de un nivel de deshidratación susceptible de influir en el rendimiento, siendo fijada esta habitualmente a partir de una pérdida del 2% de peso corporal (Goulet, Mélançon & Madja, 2008). Así mismo, se encontró una relación entre la ingesta de bebidas deportivas sobre la prevención en la elevación algunos marcadores fisiológicos indicativos de un aumento de la intensidad, como puede ser el lactato. Por tanto se mostraría la necesidad de aumentar la ingesta de líquidos de los deportistas de carreras por montaña, así como resaltar la posibilidad de que la repercusión de cierto nivel de deshidratación sobre el rendimiento durante el ejercicio sea menor mediante la ingesta de bebidas deportivas, que en el caso de ingerir únicamente agua.

Teniendo en cuenta lo anteriormente comentado, se puede afirmar que habitualmente se da un cierto grado de deshidratación en las carreras de maratón. Este factor en este tipo de pruebas provoca un aumento de la frecuencia cardíaca y debe tenerse especial precaución en situaciones de gran humedad relativa (>55%) y calor ambiental (>25°C), ya que la deshidratación puede acentuarse en este tipo de condiciones (Palacios et al., 2008, citados por Urdampilleta et al., 2013). También en este sentido, Casa et al. (2010) analizaron los efectos de la deshidratación para las carreras de montaña en ambientes calurosos, llegando del mismo modo a la conclusión de que al aumentar la deshidratación (pérdida de masa corporal de un 2,03% en un grupo y de 4,59% en otro), pueden darse tanto aumentos de la temperatura corporal como de hasta 15ppm de la frecuencia cardíaca. Incluso tras un periodo de descanso la frecuencia cardíaca seguía siendo más elevada, con las consideraciones que ello tendría en los entrenamientos interválicos, por ejemplo. También observaron una mayor puntuación en escalas de esfuerzo percibido, por lo que los deportistas parecen también percibir una mayor carga interna, a pesar de que los tiempos finales eran peores (evidenciándose una bajada del rendimiento en situación de deshidratación).

Uno de los posibles problemas relacionados con el calor y la deshidratación, ya mencionado anteriormente es la hiponatremia, tratándose de un desorden en el equilibrio de líquidos y electrolitos del cuerpo, en el cual se alcanza una concentración muy baja de sodio plasmático (Urdampilleta et al., 2013). Habitualmente esto es debido a una importante ingesta de agua, sin realizar ingesta de sales, principalmente sodio. La ingesta de líquido recomendada durante una maratón de asfalto se sitúa entre los 0,5-0,7 litros por hora de duración (Aragón, 2012, citado por Urdampilleta et al., 2013), siendo necesario para una hidratación correcta, que sean bebidas con electrolitos, conteniendo aproximadamente 500-700mg de sodio por litro.

En cuanto a los problemas gastrointestinales, una alta ingesta de hidratos de carbono tanto previa como durante la actividad, unida al esfuerzo y sollicitación física y fisiológica, puede ralentizar el vaciado gástrico y provocar este tipo de problemas, más habituales si cabe en actividades como las de carrera, en las que el excesivo movimiento del deportista y los continuos impactos. Es por ello que desde hace algunos años se habla del concepto de entrenamiento del sistema digestivo, entendido como un conjunto de pautas mediante las cuales ir habituando al sistema digestivo a soportar la ingesta de altos niveles de hidratos de carbono junto a la realizando la actividad deportiva habitual, aumentando estas cantidades ingeridas de forma progresiva, para facilitar la labor (de Oliveira et al., 2014; Jeukendrup, 2017; Urdampilleta et al., 2015a).

Otra de las recomendaciones habituales en la nutrición deportiva para deportes de resistencia es la ingesta de cafeína. En este sentido, se recomienda la toma de 3mg/kg una hora antes del comienzo del esfuerzo, seguido de tomas de 1mg/kg aproximadamente cada 2 horas de duración del mismo (Jeukendrup, 2011; Urdampilleta & Mielgo-Ayuso, 2016).

Finalmente, con el objetivo de incidir en la optimización de la movilización de las grasas como combustible durante esfuerzos de larga duración, la estrategia de ayuno está siendo ampliamente utilizada y estudiada, ya que promueve una mayor utilización de la grasa intramuscular y con ello resulta de ayuda a la hora de reservar parte del glucógeno muscular durante la carrera, para su utilización en momentos de mayor intensidad (Urdampilleta & Sauló, 2016). Con este tipo de estrategia, se obtienen además de cierta tolerancia psicológica, también adaptaciones musculares y cambios metabólicos, tal y como apuntan Urdampilleta et al. (2013).

## **2. OBJETIVOS**

El **objetivo principal** de esta investigación es el **determinar las zonas fisiológicas en las que se compete en las maratones de montaña**, desglosando los esfuerzos realizados en zonas de subida, bajada y llano, para tratar de definir los factores limitantes del rendimiento, entendiendo como zonas llanas aquellas en las que la pendiente de subida y/o bajada es menor del 2%. Esta determinación se realizará mediante la toma de datos de indicadores tales como la frecuencia cardíaca, el tiempo, distancia y velocidad de carrera.

Con ello se pretende ofrecer herramientas adecuadas a técnicos y deportistas a la hora de afrontar tanto la preparación como la propia competición, con datos adaptados a situaciones reales de carrera en montaña. Esta información será de gran utilidad tanto a la hora de planificar los propios entrenamientos, como para diseñar la intervención nutricional de las carreras y la estrategia de recuperación posterior.

Como objetivos secundarios podríamos nombrar los siguientes:

- 1) Analizar la posible relación entre los valores de frecuencia cardíaca y velocidades obtenidas en un test de determinación del umbral de lactato, un test de potencia aeróbica máxima y el rendimiento durante la maratón de montaña, basándose para ello en los valores frecuencia cardíaca y velocidad de carrera.
- 2) Determinar las diferencias en el rendimiento y en los parámetros ya mencionados durante la realización de la maratón de montaña.
- 3) Ofrecer algunas posibles aplicaciones nutricionales a aplicar tanto previamente como durante la propia maratón de montaña para tratar de optimizar al máximo el rendimiento y reducir posibles descensos del mismo.

## **3. METODOLOGÍA**

Este trabajo se encuentra enmarcado en una investigación más amplia que incluye el estudio de un mayor número de parámetros y variables, como la acumulación de lactato en sangre, la utilización de escalas de esfuerzo percibido, diferencias en la fuerza de extremidades inferiores pre y post carrera, test psicológicos, etc.

Dicha investigación fue desarrollada y liderada por el Dr. Aritz Urdampilleta (<http://www.drurdampilleta.com/>), y llevada a cabo en su mayor parte en el centro sanitario ElikaEsport (<http://www.elikaesport.com/>) y su equipo de trabajo, así como colaboradores más importantes (<https://www.youtube.com/watch?v=AcGpNWcmmhs/>).

Se trata de un estudio de campo, controlado, aleatorizado y con enmascaramiento simple.

### ***Participantes***

Han formado parte del estudio sujetos sanos, deportistas participantes en carreras de montaña, con una experiencia de al menos 2 años. Se trata de sujetos sin patologías y aptos para realizar actividad física intensa, de ambos sexos, con edades comprendidas entre los 23 y los 50 años, con una media de  $37,96 \pm 7,11$  años.

Se ha contado con la participación de 20 deportistas, de los cuales 3 eran mujeres. Entre ellos, 18 finalizaron la maratón de montaña completa, mientras que 2 de ellos debieron abandonar por diferentes motivos.

La aleatorización de los participantes se realizó siguiendo los principios éticos vigentes y siguiendo a un modelo que asegure una adecuada distribución por sexo en todos los grupos experimentales, aunque en este caso, y tal como se ha comentado, se contó con la participación únicamente de 3 mujeres, una de las cuales abandonó la prueba antes de finalizar, por lo que los resultados por sexos probablemente no serán significativos en este caso.

Todos los deportistas firmaron un consentimiento informado tras recibir toda la información necesaria acerca de todos los detalles del proyecto. La investigación cumple con todos los requerimientos de la declaración de Helsinki.

Los participantes se dividieron en dos grupos. El grupo control debía ingerir durante la prueba una cantidad de 60 gramos de carbohidratos por hora, en consonancia con las recomendaciones actuales en la nutrición aplicada a este tipo de carreras de resistencia. El grupo de intervención debía tomar 120 gramos de carbohidratos por hora de carrera, con el objetivo de detectar posibles diferencias en el rendimiento y/o dificultades en la ingesta de cantidades elevadas de carbohidratos.

### ***Desarrollo de la Prueba***

El estudio ha consistido en la realización de una maratón de montaña, durante la cual se han tomado diferentes datos tanto relativos al rendimiento en carrera como a la respuesta fisiológica de los deportistas, como son la frecuencia cardíaca, así como tiempos y distancias recorridas. Se diseñó un recorrido en el que se realizaban tres vueltas circulares en una zona montañosa, con una ascensión, un descenso y una zona llana entre cada una de las vueltas, así como una zona llana de inicio y otra para finalizar. La distancia a cubrir fue de 42,2 kilómetros, con un desnivel positivo total de +2350 metros y un desnivel negativo total de -2350 metros. Por tanto el desnivel acumulado fue de 4700 metros.

El recorrido total se completaba con una pequeña subida de 0,5km que existía tras cada parada en el avituallamiento, que no se ha contabilizado dentro de las subidas a efectos de análisis por realizarse tras el descanso.

Teniendo en cuenta que el desarrollo de una prueba de esta duración puede provocar descensos del rendimiento a lo largo del tiempo, es importante poder obtener datos de cada una de estas partes llanas, de subida y bajada que se encuentran los corredores en diferentes momentos de la prueba. Así pues, existía una primera parte llana al inicio de la prueba de una longitud de unos 3 kilómetros, otra comprendida entre los kilómetros 14 y 16, una tercera entre los kilómetros 27 y 29, y para finalizar tras la última bajada la prueba terminaba con un tramo llano de algo más de 2 kilómetros. Se identifica como zona llana aquella en la que la pendiente media es menor que un 2%.

Por otro lado, existían en el circuito 3 subidas idénticas de unos 5 kilómetros de longitud, una primera situada entre los kilómetros 3 y 8, otra comprendida entre los kilómetros 16 y 21, y para finalizar una tercera entre los kilómetros 29 y 34. El desnivel positivo de cada subida era de +700 metros. Por tanto, la pendiente media de las subidas fue de aproximadamente el 14%. El desnivel positivo se completaba hasta el total con las pequeñas subidas tras cada avituallamiento y los tres primeros tramos llanos que suponían un pequeño desnivel positivo, además de algunas pequeñas rampas durante la bajada.

Finalmente, también existían a lo largo de la prueba 3 tramos idénticos de bajada, de unos 5,5 kilómetros de longitud, un primero situado entre los kilómetros 8,5 y 14, otro comprendido entre los kilómetros 21,5 y 27, y para finalizar un tercero entre los kilómetros 34,5 y 40. El desnivel negativo de cada bajada era de -770 metros. Por tanto, la pendiente media de las subidas fue de aproximadamente el 14,1%. El desnivel negativo total se completaba con el tramo llano final que tenía un pequeño desnivel.

El recorrido total se completaba con una pequeña subida de 0,5km que existía tras cada parada en el avituallamiento, que no se ha contabilizado dentro de las subidas a efectos de análisis por realizarse tras el descanso.

Las zonas de intensidad, tal como se ha comentado anteriormente, se analizan basándose en la frecuencia cardíaca, relacionándola con la velocidad de carrera de los corredores para poder detectar posibles cambios en el rendimiento a lo largo de la maratón (básicamente posibles descensos de las prestaciones de los deportistas), así como el umbral de lactato detectado en las pruebas ergométricas previas que se describen a continuación.

El día previo a la carrera se llevaron a cabo diferentes pruebas de valoración fisiológicas, constando en el caso que nos ocupa de una prueba submáxima en tapiz rodante intermitente de carga progresiva, con periodos de tres minutos de carrera a velocidad constante por un minuto de reposo. Se trataría de una variante del protocolo de Bruce, adaptado a las características de las pruebas de montaña y diseñado

específicamente para esta prueba por el Centro ElikaEsport, y con carácter submáximo. El inicio de la prueba se situó en los 10km/h con una inclinación del 3% para los hombres, y en los 9km/h con un 2% de inclinación para las mujeres. En cada una de las estaciones se incrementaba la velocidad en un 1km/h y la inclinación del tapiz en un 1%. Una vez detectado el umbral de lactato se finalizaba la prueba, por lo que la prueba no era maximal. Al finalizar la prueba y tras un descanso de 2 minutos, se les realizaba una prueba de potencia aeróbica, también en este caso específicamente diseñada para esta investigación en el Centro ElikaEsport, situando el tapiz rodante a una velocidad de 20km/h para los hombres y 16km/h para las mujeres, en ambos casos con una inclinación de un 1%. En esta parte de la prueba debían tratar de correr a ese ritmo todo el tiempo que les fuera posible hasta la extenuación.

Mediante estas pruebas se trató de determinar las zonas fisiológicas de carrera de los deportistas, en especial el Umbral de Lactato, así como la Potencia Aeróbica Máxima.

En la propia carrera, así como durante las pruebas previas, los deportistas utilizaron pulsómetros con medición de la frecuencia cardíaca continuada y receptor GPS integrado para poder analizar posteriormente los datos de pulso, distancias, velocidades y tiempos. Se utilizaron aparatos de diversos modelos y marcas (Polar RC3GPS, Polar M400, Suunto Ambit 3 Peak, Suunto Spartan Ultra, Garmin Fenix 3 y Garmin Forerunner 230).

Las prueba ergométricas se realizaron en cinta ergométrica Tunturi Pure Run 10.1. La medición de lactato en sangre se realizaron mediante lactatómetro Lactate Scout de SensLab GmbH (EKF Diagnostics) y tiras reactivas propias del aparato, en cada escalón de intensidad en las pruebas previas.

En el apartado de nutrición, a pesar de no ser el análisis exhaustivo del mismo, el objetivo principal de este trabajo, en la parte alta del recorrido se situó un punto de avituallamiento en el que se abasteció a los participantes, según el grupo al que pertenecían, intervención o control, la cantidad predeterminada de carbohidratos mediante bebida isotónica, geles y barritas energéticas (de las marcas Fullgas, Infisport y Etixx). Así mismo debían ingerir 0,5 litros de bebida por hora de carrera. Tal como se ha comentado anteriormente, cada uno de los grupos tomó una diferente cantidad de alimento y bebida, con el objetivo de analizar posibles diferencias de rendimiento asociadas también a la nutrición en carrera. Previamente, se solicitó a los corredores la realización de una dieta de sobrecarga de carbohidratos previa, cuyas pautas les fueron indicadas para homogeneizar este aspecto.

### **Análisis Estadístico**

El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el programa informático IBM SPSS Statistics 24.0.0.0. Los datos analizados en este estudios son considerados estadísticamente como variables cuantitativas. Se determinó la normalidad de la muestra con la prueba de Shapiro-Will. Para analizar las posibles diferencias en las medidas de frecuencia cardíaca (tanto máxima como media) y la velocidad media en los diferentes llanos, subidas y bajadas de la prueba para detectar posibles diferencias en el rendimiento, se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas, una vez asumidas la homogeneidad de la varianza, la normalidad y la esfericidad. Las comparaciones por pares se realizaron aplicando el ajuste post-hoc de Bonferroni. También se realizan análisis de correlación bivariada para diversas varibales, con el objetivo de analizar la posibilidad de que mantengan una relación bien positiva, bien negativa en su evolución. Cuando es aplicable se presentan los datos como la media  $\pm$  DE (desviación estándar). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

A la hora de hacer los análisis estadísticos por grupos de corredores, se han tomado terciles debido a que se ha tomado en cuenta que los deportistas incluídos en la investigación eran de un nivel muy dispar y por ello se han tomado tres grupos de alto, medio y bajo nivel, tomando como referencia la clasificación de la prueba (1<sup>º</sup>-6<sup>º</sup> clasificado, 7<sup>º</sup>-12<sup>º</sup> clasificado y 13<sup>º</sup>-18<sup>º</sup>).

## **4. RESULTADOS**

En este apartado se presentarán los resultados más relevantes hallados a lo largo de la investigación, poniendo en relación los datos obtenidos en las pruebas realizadas previamente, como los obtenidos durante la propia prueba de maratón de montaña. De forma concreta, se analizarán la velocidad y frecuencia cardíaca, tanto en los test previos como durante la carrera, relacionando estos parámetros con el objetivo de establecer patrones en el análisis del rendimiento durante la carrera.

En cuanto a los tiempos de finalización de la maratón de montaña, señalar que el primer clasificado invirtió un tiempo de 3 horas 40 minutos 06 segundos, mientras que el último clasificado necesitó 6 horas 00 minutos 50 segundos, situándose el tiempo medio de todos los participantes en 4 horas 38 minutos 55 segundos  $\pm$  39 minutos 25 segundos (gráfico 1).

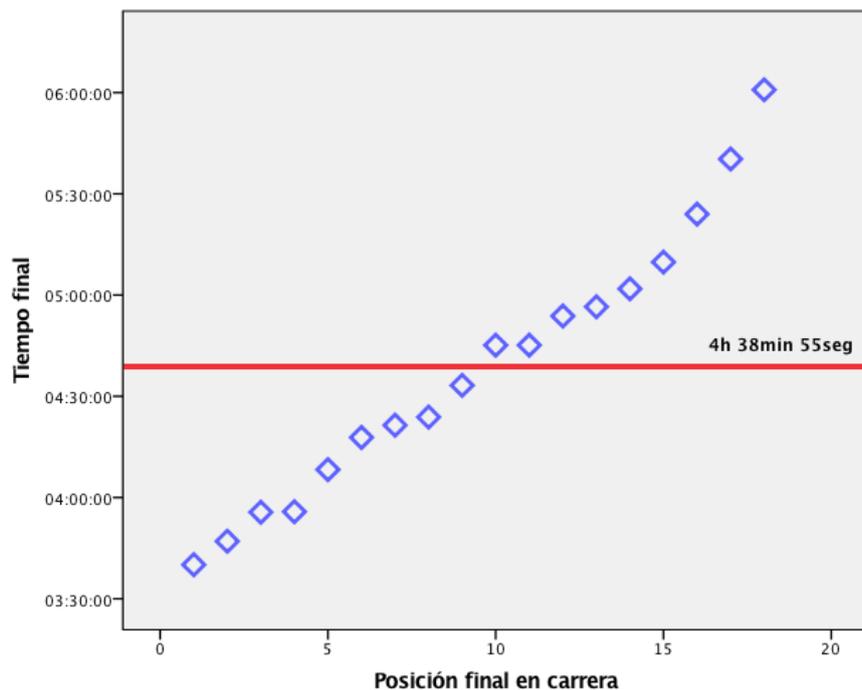


Gráfico 1: tiempos finales de carrera y media de los mismos.

En este sentido, tal como se puede observar en el gráfico 2, en el test incremental previo, las frecuencias cardíacas a las que se encontró el umbral de lactato de los corredores se situaron casi en la totalidad de los casos por encima del 90% de su frecuencia cardíaca máxima (todos excepto dos), situándose incluso en el caso de cinco deportistas por encima del 95% de la máxima. Concretamente se situaron en un  $93,74 \pm 2,58\%$ , alcanzando las frecuencias cardíacas en el umbral un valor de  $176,17 \pm 8,47$  ppm.

Igualmente, la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la maratón, en todos los casos excepto uno superó el 90% de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante el test, e incluso en uno de los casos la superaron (gráfico 3), siendo la media de las frecuencias cardíacas máximas durante la maratón de  $179 \pm 9$  ppm. Esto corresponde a una media relativa de  $95,22 \pm 3,35\%$  respecto a la frecuencia cardíaca máxima durante los test, con valores de entre el 88% y el 101%.

Según el análisis estadístico, los corredores de mayor nivel se acercan más a su frecuencia cardíaca máxima que aquellos con un menor nivel, confirmándose esta correlación con un nivel de significación de 0,02, y siendo esta una relación negativa. En el caso de la frecuencia cardíaca de umbral respecto a la frecuencia cardíaca máxima, el análisis estadístico, si bien prácticamente en el límite, no aporta datos que permitan confirmar una correlación entre el nivel del corredor y la situación de su frecuencia cardíaca en el umbral relativa a la máxima.

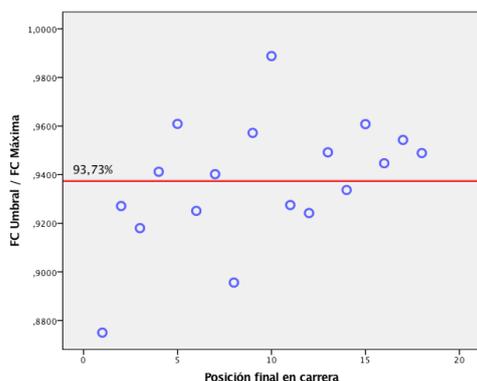


Gráfico 2: frecuencia cardíaca de umbral respecto a frecuencia cardíaca máxima en los test.

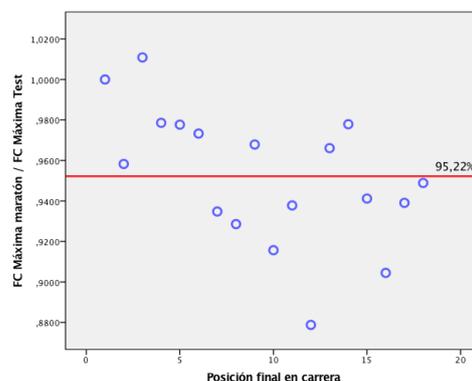


Gráfico 3: FC máxima alcanzada durante la maratón respecto a la FC máxima alcanzada en los test.

La frecuencia cardíaca media durante la maratón respecto a la frecuencia cardíaca máxima alcanzada en los test previos, se situó en un  $83,91 \pm 3,92\%$ , con valores entre el 75% y el 91%.

En el análisis de la frecuencia cardíaca media de los corredores durante la maratón de montaña respecto a sus respectivos umbrales de lactato, cabe destacar que la mitad de los corredores estuvieron por encima del 90% respecto a la frecuencia cardíaca en sus umbrales de lactato, con una relación de  $89,58 \pm 4,78\%$ , siendo el valor de la frecuencia cardíaca media durante la maratón de  $157,61 \pm 7,86$  ppm. Se observa una tendencia a ir disminuyendo la intensidad relativa según baja el nivel (gráfico 4). En un análisis de la correlación entre variables, se confirma esta correlación con un nivel de significación de 0,017, y siendo esta una relación negativa.

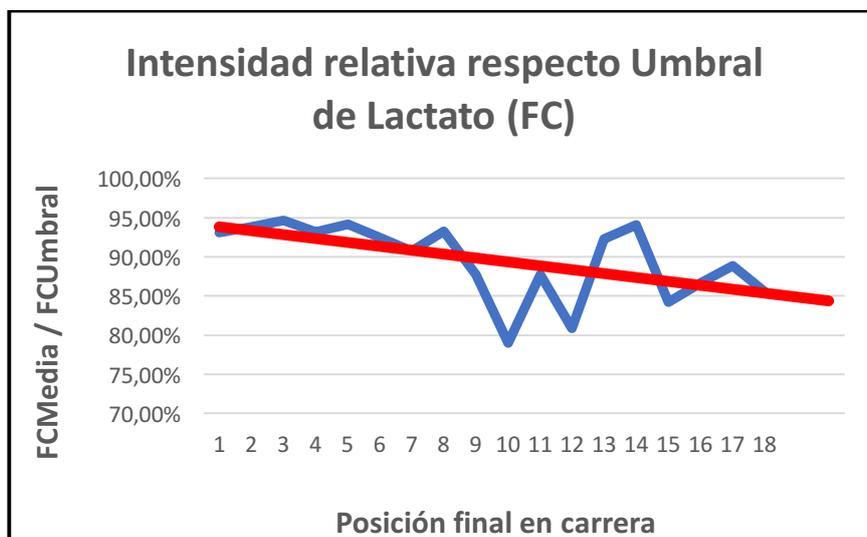


Gráfico 4: Intensidad relativa respecto al umbral de lactato, tomando como referencia la frecuencia cardíaca. Incluye línea de tendencia.

El análisis estadístico muestra una relación positiva y significativa ( $p=0,01$ ) entre la velocidad media de carrera durante la maratón de montaña y el % de utilización de la capacidad aeróbica (frecuencia cardíaca media durante la maratón respecto a la frecuencia cardíaca de umbral), si bien la relación no presenta mucha fuerza, ya que el índice de correlación de Pearson es de 0,587. Como cabe esperar, y siendo el tiempo final y la velocidad media variables dependientes una de la otra, también el análisis estadístico muestra una relación significativa con el tiempo final, pero en este caso la correlación es negativa.

En cuanto a posibles relaciones entre el propio umbral de lactato y el rendimiento en la maratón de montaña, tomando como referencia la velocidad de carrera en la zona de umbral detectada en las pruebas ergométricas previas, tal como se observa en el gráfico 5, existe una tendencia a disminuir la velocidad en el

umbral respecto a la posición final ocupada por los corredores. El análisis estadístico indica una buena correlación entre el umbral de lactato y el rendimiento en el caso de las carreras de montaña ( $p=0,000$ ), con una correlación de un 76%.

En valores absolutos, las velocidades en el umbral detectadas en las pruebas ergométricas se situaron entre los 11,62km/h y 14km/h, con una media de  $12,79\pm 0,74$ km/h, mientras que las velocidades medias durante el maratón se situaron entre los 7,29km/h y los 11,36km/h, con una media de  $9,32\pm 1,25$ km/h. En este caso, pues, las velocidades medias mantenidas durante la maratón de montaña corresponderían a entre un 62% y un 85% de las velocidades de umbral, con una media de este parámetro de  $72,68\pm 7,29\%$ .

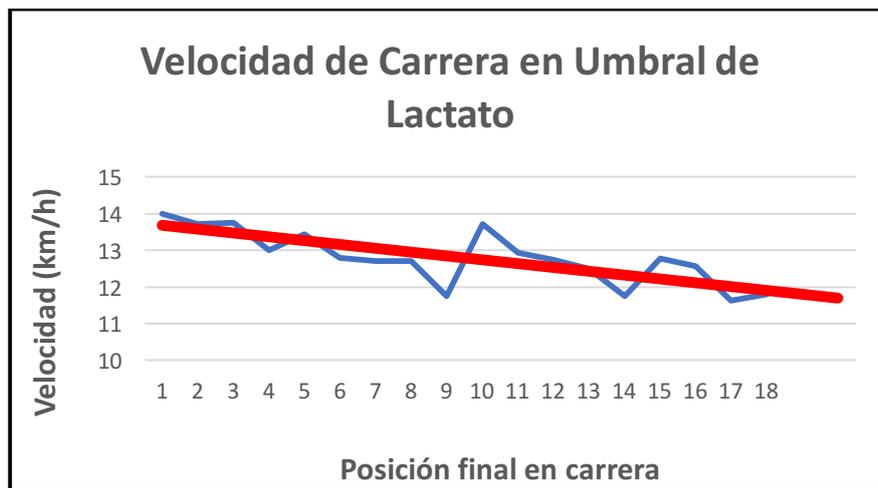


Gráfico 5: velocidad de carrera en la zona de Umbral de Lactato respecto al nivel (posición final) de los corredores. Incluye línea de tendencia.

No se ha encontrado correlación alguna, sin embargo, entre los tiempos que fueron capaces de correr los deportistas en el test previo de potencia aeróbica a una velocidad de carrera determinada en llano, y el rendimiento final de la maratón de montaña.

A la hora de desglosar los datos indicativos del rendimiento de los corredores en los diferentes terrenos de la carrera (llanos, subidas y bajadas), los datos encontrados son los que se presentan a continuación.

La velocidad media de los corredores en los tramos llanos del recorrido es muy dispar, tal como se puede observar en el gráfico 6. Se observan velocidades medias desde los 8,5km/h hasta los 14,1km/h. En cuanto a las frecuencias cardíacas registradas en estos tramos, las máximas estuvieron en todos los casos excepto 3 por encima del 85% de la máxima observada en los test, siendo la media de  $88,87\pm 4,69\%$ . En el caso de las frecuencias cardíacas medias, estas superaron en el 70% de los casos el 90% respecto a la frecuencia cardíaca de umbral, siendo la media de  $90,78\pm 6,22\%$ .

En cuanto a la relación entre las variables de frecuencia cardíaca relativas mencionadas y el rendimiento, se observa correlación inversa entre la frecuencia cardíaca media alcanzada por los corredores durante los tramos llanos de la maratón y la frecuencia cardíaca de umbral determinada en el test, con una significación de  $p=0,025$ , aunque no se trata de una relación de mucha fuerza. Sin embargo no existe correlación entre la posición final lograda por los corredores y la frecuencia cardíaca máxima durante la maratón respecto a la máxima de los test previos.



Gráfico 6: velocidad media de carrera de los deportista de todos los tramos llanos en conjunto (km/h). Incluye línea de tendencia.

En el análisis de las diferencias de rendimiento entre los diferentes tramos llanos del circuito (Tabla 1), el estudio estadístico de los datos revela que existen diferencias significativas en la velocidad de carrera entre unos llanos y otros, ya que el análisis mediante ANOVA de medidas repetidas arroja un nivel de significación de  $p=0,000$ . Realizando un análisis entre llanos mediante prueba post-hoc de Bonferroni, se observan diferencias significativas entre todos los llanos, exceptuando el segundo y el cuarto. Lo que se observa es un descenso significativo de la velocidad hasta el tercer llano, habiendo de nuevo una aceleración en el último llano y acercándose a la velocidad del segundo (de ahí que entre ellos no existan diferencias significativas). Por tanto, se da una bajada de un 8,88% en la velocidad del primer al segundo llano, y muy similar del segundo al tercero, llegando a ser del 8,90%. La caída total de velocidad del primer al tercer llano es del 16,99%, tal como se puede observar. Tal como se ha comentado, en el último llano, siendo ya el final de carrera esta velocidad vuelve a aumentar.

Sin embargo, tanto en las frecuencias cardíacas máximas registradas durante la maratón en estos tramos llanos respecto a las máximas de los test previos como en las frecuencias cardíacas medias respecto a la de umbral de lactato, el análisis estadístico no arroja diferencias significativas en los diferentes tramos, situándose en valores similares (gráfico 7).

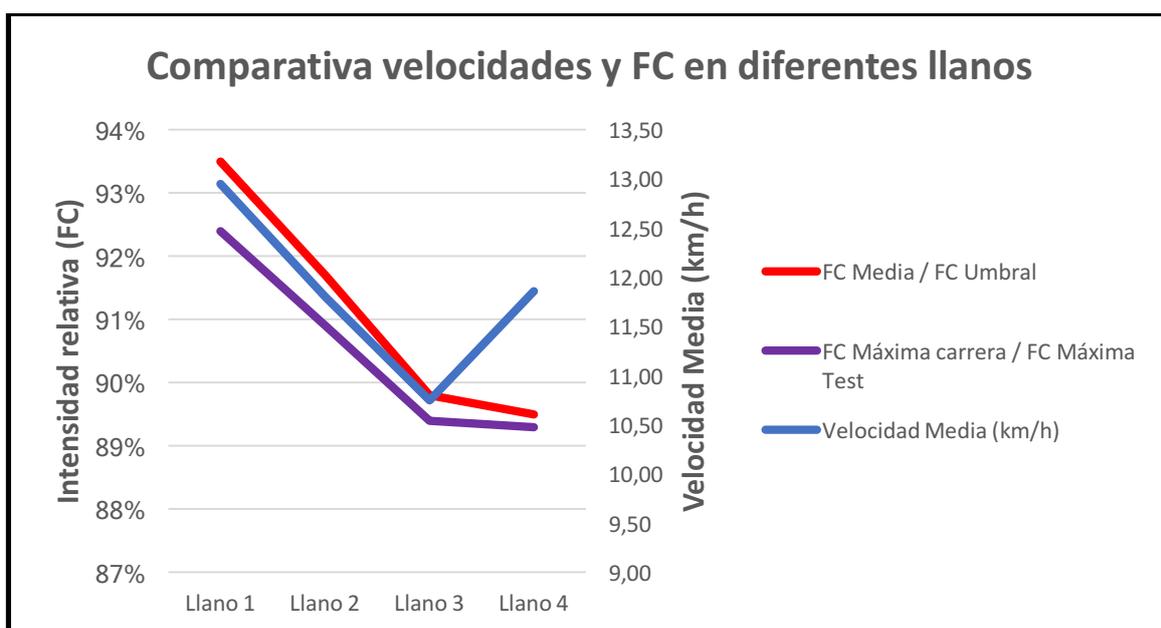


Gráfico 7: velocidades medias (km/h), frecuencia cardíaca media relativa respecto al umbral y frecuencia máxima en carrera respecto a la obtenida en los test previos, en cada uno de los tramos llanos.

En los tramos de subida, al igual que se ha comentado para los llanos, las velocidades a las que se desplazaron los corredores fueron muy variables, observando valores desde los 5,75km/h hasta los 9,50km/h, tal como se puede apreciar en el gráfico 8. En cuanto a las frecuencias cardíacas registradas en estos tramos, las máximas en carrera estuvieron más cercanas a las máximas registradas durante los test previos que en el caso de los tramos llanos, y las medias también se situaron cercanas al umbral de lactato, ya que en ambos casos en aproximadamente el 75% de los casos igualaron o superaron el 90% respecto a la frecuencia cardíaca de referencia. Concretamente la media fue de  $91,94 \pm 4,58\%$  en el caso de las frecuencias cardíacas medias respecto al umbral, y de  $91,06 \pm 3,35\%$  para las frecuencias cardíacas máximas en carrera respecto a las máximas en los test.

En cuanto a la relación entre las variables de frecuencia cardíaca relativas mencionadas y el rendimiento, se observa también una correlación inversa entre la frecuencia cardíaca media alcanzada por los corredores durante los tramos de subida de la maratón y la frecuencia cardíaca de umbral determinada en el test, con una significación de  $p=0,036$ . En este caso tampoco existe correlación entre la posición final lograda por los corredores y la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la maratón respecto a la máxima de los test previos.



Gráfico 8: velocidad media de carrera de los deportista de todos los tramos de subida en conjunto (km/h). Incluye línea de tendencia.

En el caso de las subidas, a la hora de analizar las diferencias de rendimiento entre las mismas (gráfico 9), el estudio estadístico de los datos revela que existen diferencias significativas en la velocidad de carrera entre unos tramos de subida y otros, ya que el análisis mediante ANOVA de medidas repetidas arroja un nivel de significación de  $p=0,000$ . Realizando un análisis entre subidas mediante prueba post-hoc de Bonferroni, en este caso se observan diferencias significativas entre todas las subidas, sin excepción. Lo que se observa es un descenso significativo de la velocidad en las sucesivas subidas, tal como se puede comprobar en los datos de la tabla 2. Se da una bajada de un 9,23% en la velocidad de la primera a la segunda subida, y aún mayor de la segunda a la tercera, llegando a ser del 11,23%. La caída total de velocidad de la primera a la tercera subida es del 19,42%, tal como se puede observar.

En estos tramos, a diferencia de los llanos, también se observan mediante en análisis estadístico que existen diferencias significativas entre las frecuencias cardíacas medias respecto a la de umbral de lactato, con un nivel de significación de  $p=000$  en el análisis ANOVA, entre todos los tramos. Igualmente existen diferencias significativas ( $p=0,004$  en análisis ANOVA) también en las frecuencias cardíacas máximas registradas durante la maratón respecto a la máxima de los test previos entre todos los tramos (con  $p=0,024$  entre 1º-2º y 2º-3º tramos y  $p=0,002$  entre 1º-3º tramos en la prueba post-hoc de Bonferroni).

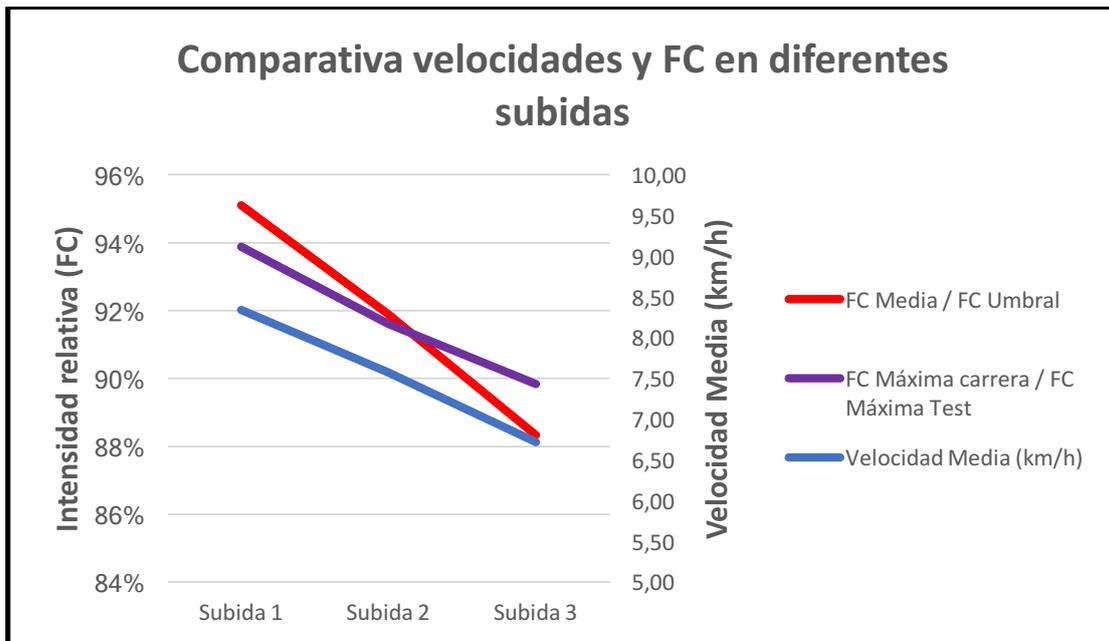


Gráfico 9: velocidades medias (km/h), frecuencia cardíaca media relativa respecto al umbral y frecuencia máxima en carrera respecto a la obtenida en los test previos, en cada uno de los tramos de subida.

En cuanto a las bajadas se refiere, se siguen observando grandes diferencias en los ritmos de los corredores, midiéndose velocidades medias desde los 14,76km/h hasta los 8,38km/h (gráfico 10). También en los tramos de bajada las frecuencias cardíacas máximas superaron en prácticamente todos los casos el 85% de la máxima observada en los test (excepto dos), siendo la media de  $89,95 \pm 3,73\%$ . Las frecuencias cardíacas medias relativas en este caso fueron algo más bajas que en los tramos de subida y llano en general, ya que únicamente 6 corredores estuvieron en una intensidad superior al 90% de su frecuencia cardíaca de umbral de lactato. A pesar de ello, el 70% de los participantes sí estuvieron por encima del 85% de dicha frecuencia cardíaca de umbral y es por ello que en el caso de esta relación el porcentaje se sitúa en el  $88,05 \pm 5,60\%$ .

En cuanto a la relación entre las variables de frecuencia cardíaca relativas mencionadas y el rendimiento, se observa correlación inversa muy significativa entre la frecuencia cardíaca media alcanzada por los corredores durante los tramos llanos de la maratón y la de umbral determinada en el test, con una significación de  $p=0,002$ . En este caso también existe correlación estadísticamente significativa ( $p=0,018$ ) entre la posición final lograda por los corredores y la frecuencia cardíaca máxima durante la maratón respecto a la máxima de los test previos, en sentido negativo al igual que ocurre con las medias.



Gráfico 10: velocidad media de carrera de los deportista de todos los tramos de bajada en conjunto (km/h). Incluye línea de tendencia.

Finalmente, y para las bajadas, el estudio estadístico de los datos revela que existen también diferencias significativas en la velocidad de carrera entre unos tramos y otros, ya que el análisis mediante ANOVA de medidas repetidas arroja un nivel de significación de  $p=0,000$ . Realizando un análisis entre bajadas mediante prueba post-hoc de Bonferroni, en este caso se observan diferencias significativas entre todas las bajadas, sin excepción. Lo que se observa es un descenso significativo de la velocidad en los sucesivos tramos de este tipo, tal como se puede comprobar en los datos de la tabla 3. Se da una bajada de un 5,27% en la velocidad de la primera a la segunda bajada, y mucho mayor de la segunda a la tercera, llegando a ser del 11,71%. Ello sitúa la caída total de velocidad de la primera a la tercera bajada en el 16,36%, tal como se puede observar.

En las bajadas, al igual que ocurre en las subidas, también se observan mediante en análisis estadístico que existen diferencias significativas entre las frecuencias cardíacas medias respecto a la de umbral de lactato, así como en las frecuencias cardíacas máximas registradas durante la maratón respecto a la máxima de los test previos, pero en este caso no entre todos los tramos. Existe diferencia en los dos parámetros, del tercer tramo de bajada tanto con respecto al primero como al segundo, pero no se da esta diferencia del primer al segundo tramo, ya que tal como se puede observar en el gráfico 11, incluso la relación aumenta en el caso de las medias y baja muy sensiblemente en las máximas, para luego caer en picado en la última bajada.

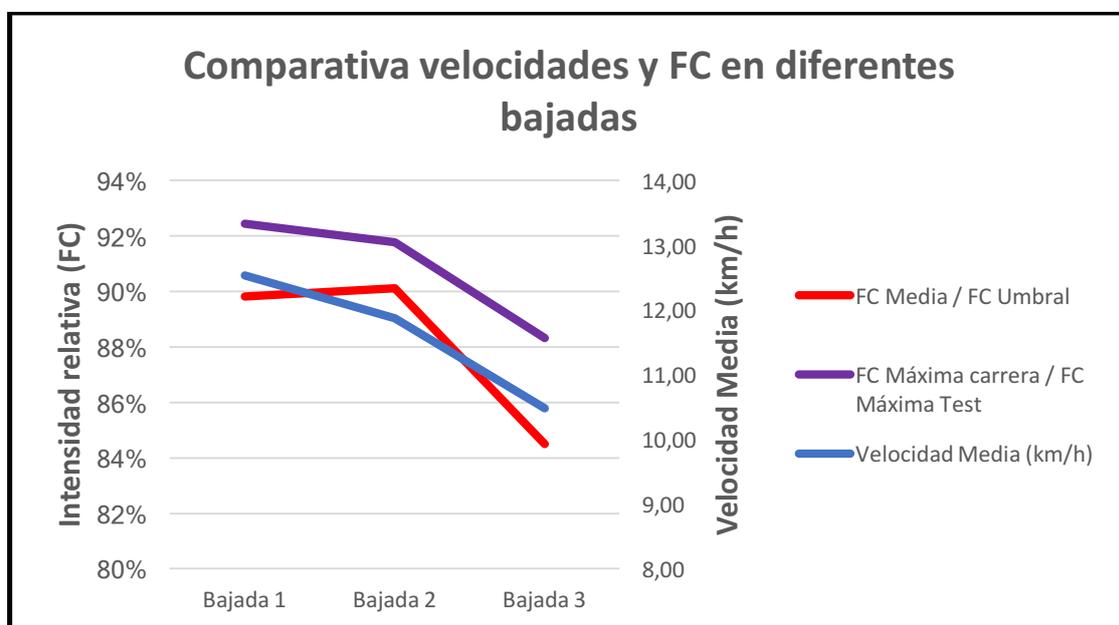


Gráfico 11: velocidades medias (km/h), frecuencia cardíaca media relativa respecto al umbral y frecuencia máxima en carrera respecto a la obtenida en los test previos, en cada uno de los tramos de bajada.

En la comparativa de las medias de frecuencia cardíaca durante la maratón respecto al umbral de lactato, en este caso entre los llanos, subidas y bajadas, para analizar posibles diferencias en las intensidades a las que afrontan los corredores los diferentes terrenos durante la carrera, los datos indican diferencias estadísticamente significativas entre algunos de ellos. Específicamente existen diferencias entre las subidas y las bajadas así como entre los llanos y las bajadas, en ambos casos con un nivel de significación de  $p=0,001$ .

También se han analizado posibles diferencias en las variaciones de intensidad entre tramos del mismo tipo según el nivel de los corredores. Para ello se han tomado los datos de los 6 primeros corredores por un lado, los clasificados del 7º al 12º puesto por otro y finalmente los últimos 6 clasificados. Los datos obtenidos, tanto en el caso de las frecuencias medias respecto al umbral como de las velocidades durante cada tramo son los reflejados en los gráficos 12 y 13.

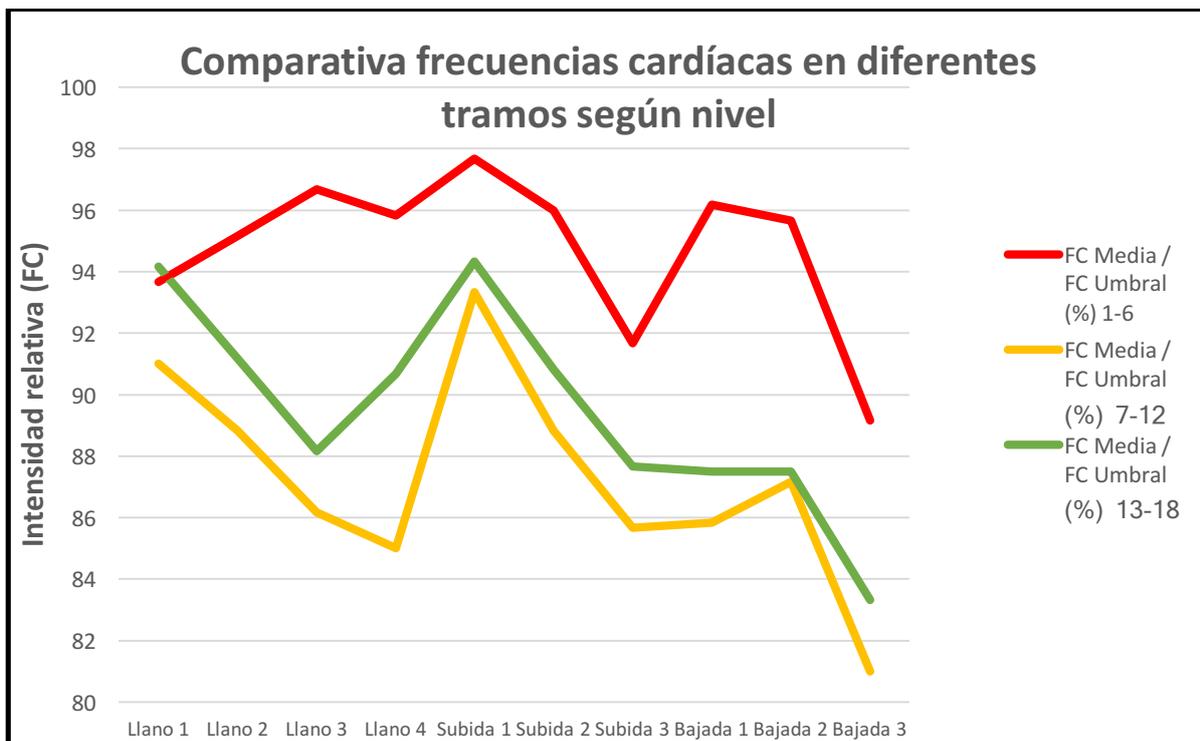


Gráfico 12: frecuencia cardíaca media relativa respecto al umbral (%) en cada uno de los tramos llanos, de subida y de bajada, según grupos de rendimiento (1<sup>o</sup>-6<sup>o</sup> clasificados; 7<sup>o</sup>-12<sup>o</sup> clasificados; 13<sup>o</sup>-18<sup>o</sup> clasificados).

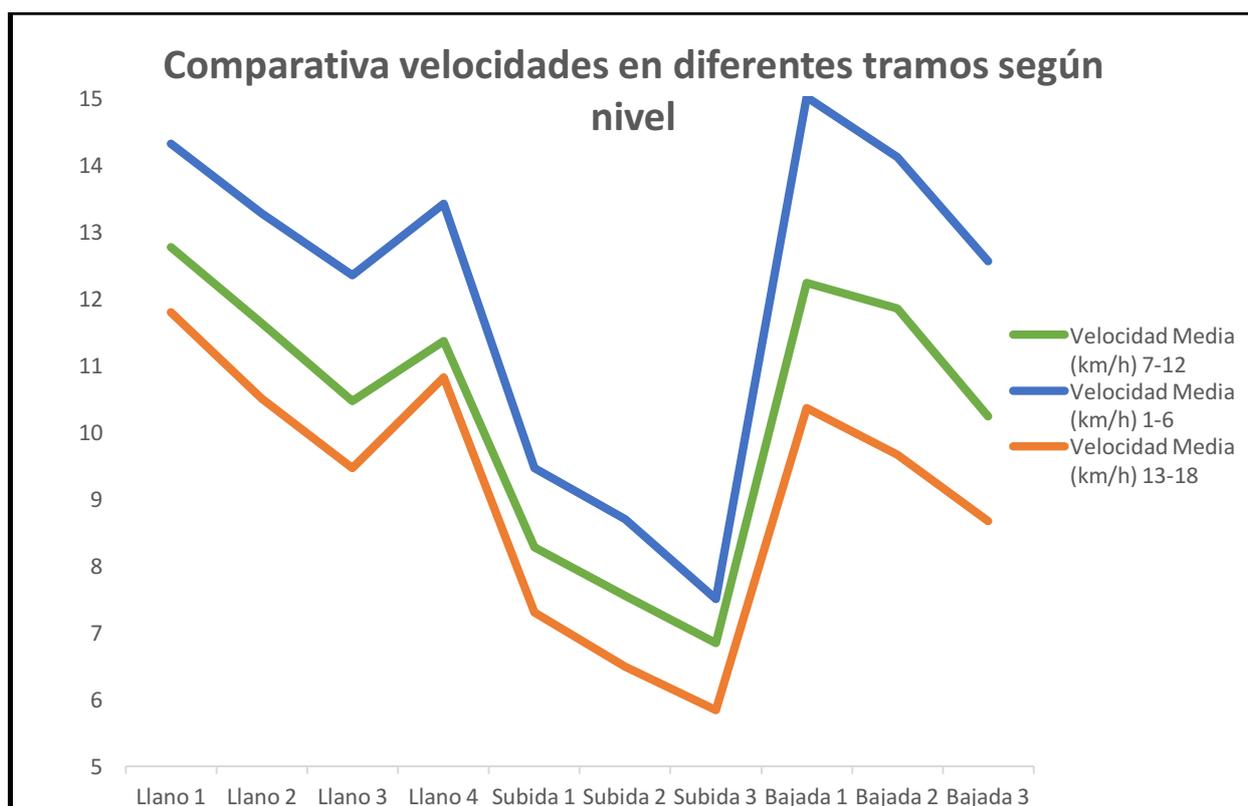


Gráfico 13: velocidad en cada uno de los tramos llanos, de subida y de bajada, según grupos de rendimiento (1<sup>o</sup>-6<sup>o</sup> clasificados; 7<sup>o</sup>-12<sup>o</sup> clasificados; 13<sup>o</sup>-18<sup>o</sup> clasificados).

El análisis estadístico refleja diferencias significativas en la velocidad desarrollada en los llanos entre los tramos 1-2 ( $p=0,009$ ), 1-3 ( $p=0,004$ ) y 3-4 ( $p=0,04$ ) en el grupo de los mejores corredores, entre los tramos 1-2 ( $p=0,031$ ), 1-3 ( $p=0,005$ ) y 2-3 ( $p=0,004$ ) en el grupo intermedio y no existen diferencias significativas en ningún tramo en el caso de los corredores más lentos. En todos los casos en el último tramo llano se da un

aumento de la velocidad. En el caso de las subidas existen diferencias significativas entre todos los tramos en el grupo de los primeros clasificados (diferencias tramos 1-2 con  $p=0,026$ ; diferencias tramos 1-3 con  $p=0,003$ ; diferencias tramos 2-3 con  $p=0,001$ ) y en el intermedio (diferencias tramos 1-2 con  $p=0,001$ ; diferencias tramos 1-3 con  $p=0,000$ ; diferencias tramos 2-3 con  $p=0,001$ ), y entre los tramos 1-2 ( $p=0,004$ ) y 1-3 ( $p=0,013$ ) en el grupo de los últimos clasificados (pero no entre los tramos 2-3). Finalmente, en las bajadas, existen diferencias significativas entre los tramos 1-3 ( $p=0,000$ ) y 2-3 ( $p=0,000$ ) en el caso de los mejores corredores, únicamente entre los tramos 1-3 ( $p=0,001$ ) en el grupo intermedio y sin diferencias en el grupo de los deportistas más lentos.

Sin embargo, estas relaciones no se corresponden con las diferencias en cuanto a las frecuencias cardíacas medias de cada tramo respecto al umbral de lactato. En este segundo caso, en los llanos existen no existen diferencias significativas entre ningún tramo en ninguno de los grupos. En las subidas, no se encuentran diferencias significativas entre los primeros clasificados, en cambio en el grupo intermedio se dan entre todos los grupos (1-2 con  $p=0,009$ ; 1-3 con  $p=0,010$ ; 2-3 con  $p=0,045$ ) y en el grupo de los deportistas más lentos únicamente entre la 1ª y 3ª subidas ( $p=0,037$ ). Y finalmente, en el caso de las bajadas, las diferencias significativas eran únicamente entre la 2ª y 3ª bajadas tanto en el grupo de los mejores ( $p=0,016$ ) como en el grupo intermedio ( $p=0,027$ ), y en el grupo de los últimos clasificados no se han encontrado diferencias significativas.

## **5. DISCUSIÓN**

En este trabajo se han estudiado las posibles diferencias en el rendimiento durante la realización de una maratón de montaña. La principal novedad de este trabajo es, no sólo la de extraer datos en situaciones reales de carrera, sino también el haber tomado datos en puntos intermedios durante la carrera, así como una monitorización continua de la velocidad y frecuencia cardíaca, y el hecho de analizar dichos datos no sólo de forma global, sino con el objetivo también de observar la posible pérdida del rendimiento a lo largo de la prueba además de las diferencias en los requerimientos fisiológicos a través del análisis de la frecuencia cardíaca, en los diferentes terrenos esperables en una carrera por montaña (subida, llano y bajada).

Los tiempos de finalización de la maratón de montaña realizada se situaron en un media de 4 horas 38 minutos 55 segundos  $\pm$  39 minutos 25 segundos. Se trata de una duración que se puede calificar como habitual en este tipo de pruebas, siendo quizá incluso una prueba relativamente rápida. Posiblemente esto sea debido a que una parte de la subida se realizaba por un camino de cemento, lo cual facilita una zancada y transmisión de la potencia mejor, y la posibilidad de desplazarse más rápido que en condiciones de, por ejemplo, barro, roca mojada, piedra suelta, etc.

En el análisis de las frecuencias cardíacas, en primer lugar destacar en este sentido que las frecuencias cardíacas a las que se encontró el umbral de lactato de los corredores al respecto de su frecuencia cardíaca máxima difirieron en cierta medida de los datos disponibles previamente en la literatura para corredores de montaña. Así en nuestro estudio se detectaron umbrales casi en la totalidad de los casos por encima del 90%, situándose concretamente en un  $93,74 \pm 2,58\%$ , siendo éste un valor muy elevado no sólo en el caso de deportistas de Trail sino prácticamente de cualquier disciplina. Autores como Egocheaga (2005) detectaron el umbral entre el 87% y el 90% de su frecuencia cardíaca máxima. Estas diferencias pueden ser debidas a que, tal como se ha comentado anteriormente, los test previos no fueron orientados a obtener intensidades máximas y cabe la posibilidad de que alguno o algunos corredores no alcanzaran su máxima.

Por otro lado, analizar la frecuencia cardíaca media de los corredores durante la maratón de montaña respecto a sus respectivos umbrales de lactato puede ser interesante y un factor clave en este tipo de carreras, ya que este es un buen indicador de la intensidad que han llevado, así como del nivel de entrenamiento y estado de forma que presentaban durante la carrera. Tal como se ha presentado anteriormente en los resultados, la mitad de los corredores estuvieron por encima del 90% respecto a la frecuencia cardíaca en sus umbrales de lactato, siendo la media de  $89,58 \pm 4,78\%$ . Este dato resulta también discrepante con el presentado por Egocheaga (2005) para corredores de montaña disputando una maratón, ya que en el caso de su estudio la intensidad de carrera se fijó entre el 95% y el 97% de la frecuencia cardíaca en el umbral.

También se puede observar que, como regla general, a mayor nivel del deportista, más cerca de su intensidad de umbral logró completar la carrera, y la tendencia es a ir disminuyendo la intensidad relativa según baja el

nivel. Esta relación entre estos dos parámetros (nivel/posición final e intensidad relativa respecto al umbral de lactato) tiene un carácter negativo, es decir, según sube el puesto (más atrás en la clasificación), más lejos de su intensidad de umbral han completado el maratón. Precisamente este puede ser el motivo de las diferencias existentes con el estudio de Egocheaga (2005), ya que en su caso se analizaron los datos de únicamente 5 corredores, siendo además estos de alto nivel. En el caso de esta investigación el nivel de los corredores era dispar, y los datos de aquellos que clasificaron de mitad hacia atrás influyeron en gran medida en este aspecto. Tomando como referencia los 5 primeros clasificados de la maratón celebrada en esta investigación, puesto a partir del cual se detecta ya una bajada importante de este parámetro, los valores se moverían entre un 93% y un 95% con una media de  $93,8 \pm 0,6\%$ , una cifra que, a pesar de continuar siendo inferior, se encuentra más acorde con la señalada por en su estudio por Egocheaga (2005).

En una comparativa respecto a las carreras de maratón en asfalto, los valores de la presente investigación, son algo inferiores en este aspecto. Ya las medias reportadas por el propio Egocheaga (2005), aunque cercanas al 98-98,5% señalado por Tanaka y Matsuura (1985) y Tanaka et al. (1988) para la maratón de asfalto, eran ya algo inferiores a éstas, y en este caso los valores han sido incluso algo menores. Esto es indicativo de que la intensidad media en las carreras de montaña está algo por debajo de las carreras por asfalto, aspecto por otro lado que se presenta dentro de lo esperable, debido a que resultan carreras de una mayor duración en tiempo, por lo que se antoja complicado mantener el mismo nivel de intensidad.

La frecuencia media alcanzada durante la maratón, analizada respecto a la frecuencia máxima alcanzada en los test previos nuevamente se sitúa algo por debajo de los valores que se desprenden del estudio realizado por Egocheaga (2005), con un  $83,91 \pm 3,92\%$  frente al  $86,02 \pm 0,96\%$ , pero si analizamos también en este caso a los 5 primeros clasificados, nos situamos en valores del  $86,71 \pm 3,26\%$ , un valor prácticamente coincidente. En ambos casos, las medias alcanzadas se sitúan algo por debajo de las que indica en su estudio Esteve (2004) para la maratón de asfalto, por lo que una vez más la intensidad media es algo menor también respecto a la FC máxima, debido a lo comentado anteriormente, una cuestión de duración de carrera.

En cuanto a la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la maratón, no se observa una tendencia de forma realmente clara en relación a la posición final de carrera (nivel de los corredores), ni en su relación con la frecuencia cardíaca máxima alcanzada en el test, ni en relación a la frecuencia cardíaca de umbral respecto a la propia máxima durante la maratón. Si bien es cierto que los corredores de mayor nivel parecen acercarse más a su frecuencia cardíaca máxima que aquellos con un menor nivel y el análisis estadístico, aunque no con mucha fuerza, confirma esta correlación, siendo esta una relación negativa. Es decir, según vamos más atrás en la clasificación final de carrera, la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la maratón se acerca en menor medida a la máxima alcanzada en los test previos. En el caso de la frecuencia cardíaca de umbral respecto a la máxima, el análisis estadístico, si bien prácticamente en el límite, no aporta datos que permitan confirmar una correlación entre el nivel del corredor y esta relación de frecuencias cardíacas.

A la hora de analizar la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante la maratón respecto a la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante el test, sin embargo, observamos que las intensidades máximas son incluso superiores que las alcanzadas en la maratón de asfalto, ya que tanto por lo que se extrae de los datos indicados en el estudio de Egocheaga (2005) que situarían esta intensidad máxima en el  $96,55 \pm 1,88\%$ , como en la presente investigación en la que se ha situado en un  $95,22 \pm 3,35\%$  (tomando a los 5 primeros deportistas al igual que anteriormente, tendríamos un  $98,51 \pm 2,06\%$ , aunque en este caso un deportista alcanzó el 100% y otro lo superó, por lo que se intuye que no llegaron a su máximo en los test previos), se supera el  $94 \pm 2\%$  señalado por Esteve (2004) en su investigación sobre la maratón de asfalto.

Por tanto, todos estos datos anteriormente presentados, parecen indicar que las frecuencias cardíacas medias durante la maratón de montaña son algo menores que en la maratón de asfalto, probablemente debido a su mayor duración en el tiempo, mientras que los esfuerzos máximos parecen ser mayores que en la maratón de asfalto, probablemente debido a las pendientes y dificultades del terreno.

También resulta interesante comprobar si existe una relación positiva y significativa entre el ritmo medio de carrera y el % de utilización de la capacidad aeróbica tal como afirman Alonso y Campo (2002), y/o si, relacionado con ello, existe una relación inversamente proporcional entre la fracción de capacidad aeróbica que se puede mantener y el tiempo de carrera, tal como pudieron constatar Davies y Thompson (1979). En este caso, y tal como se ha señalado anteriormente, el análisis estadístico muestra una relación positiva y

significativa entre la velocidad media de carrera durante la maratón de montaña y el % de utilización de la capacidad aeróbica (tomada como la relación entre la frecuencia cardíaca media durante la maratón respecto a la frecuencia cardíaca de umbral), así como una relación negativa de este último con el tiempo final invertido en la maratón. Estos datos indican que existe, por tanto, una cierta relación entre el nivel de los corredores y el % de utilización de la capacidad aeróbica encontrándose, por tanto, en consonancia por los descritos en el caso de la maratón de asfalto (Alonso & Campo, 2002; Davies & Thompson, 1979), aunque con una relación menos intensa entre variables, probablemente debido a las diferencias en cuanto al terreno y duración de la maratón de montaña respecto a la de asfalto, por lo que no parece que esta variable no parece ser un buen predictor del rendimiento en este tipo de carreras como la maratón de montaña.

En cuanto a posibles relaciones entre el propio umbral de lactato y el rendimiento en la maratón de montaña, y su predictibilidad a través de este dato, tomando como referencia la velocidad de carrera en la zona de umbral detectada en las pruebas ergométricas previas y tal como se ha comentado en los resultados, la velocidad en el umbral disminuye según baja el nivel del corredor (más atrás en la clasificación). Se observa una buena correlación entre el umbral de lactato y el rendimiento en el caso de las carreras de montaña, al igual que encontraron Sjödín y Svedenhag (1985) en el caso de la maratón de asfalto, si bien en este caso la fuerza de la relación entre ambas variables es menor y puede explicar el rendimiento de los corredores en aproximadamente un 76%, en comparación con el 92% que se señala en el caso del maratón de asfalto.

Por tanto, se trata de una variable que puede explicar en cierta medida las diferencias de rendimiento entre corredores, pero deben existir más factores a tener en cuenta para definir dicho rendimiento. Posiblemente factores como el desnivel total de la prueba, la inclinación de las rampas a superar y/o posibles diferencias en el trabajo de la fuerza muscular y la resistencia periférico-muscular entre corredores sean otros factores a tener en cuenta y que influyan en gran medida en el rendimiento de estos corredores, aunque teniendo en cuenta que los esfuerzos máximos realizados (en términos de frecuencia cardíaca) en las maratones de montaña son superiores a los descritos para maratones de asfalto tal como se ha señalado anteriormente, es probable que también un buen nivel de VO<sub>2</sub>pico sea un factor a tener en cuenta en el rendimiento. Debe tenerse en cuenta que la velocidad en umbral en este caso, y teniendo en cuenta que en la prueba ergométrica la inclinación de la cinta iba aumentando, no es un dato estable tal como sucede en el caso de las pruebas habituales para carreras de asfalto en las que la inclinación no varía. Por tanto, esta determinación dependerá del tipo de protocolo realizado en la prueba de determinación del umbral de lactato, y los datos aquí aportados únicamente serán válidos utilizando el protocolo aquí descrito.

En cuanto al análisis rendimiento de los corredores en los diferentes terrenos de la carrera (llanos, subidas y bajadas), algunos los datos encontrados son significativos. Los argumentos y razonamientos que a partir de aquí se aportarán son los que se extraen a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, debido a que no se han encontrado datos en la literatura científica relacionando y/o comparando estos parámetros en diferentes terrenos, o entre los mismos tipos de terreno pero en diferentes momentos de una misma prueba.

Al observar los datos recogidos en el total de tramos tanto llanos, como de subida y bajada, observamos que los valores más altos de intensidad en cuanto a frecuencia cardíaca los podemos encontrar en las subidas, con unas medias respecto al umbral del  $91,94 \pm 4,58\%$  y unos valores máximos respecto a los test previos de  $91,06 \pm 3,35\%$ , en comparación con el  $90,78\% \pm 6,22\%$  y  $88,87 \pm 4,69\%$  respectivamente para los llanos y el  $88,05 \pm 5,60\%$  y  $89,95 \pm 3,73\%$  para las bajadas. Tal como se puede apreciar, en las subidas se alcanzan los mayores porcentajes en ambas variables, mientras que en los llanos la media respecto al umbral es mayor pero la máxima menor que en las bajadas, probablemente porque en estos tramos la intensidad es más constante y no se dan picos como ocurre en otro tipo de terrenos.

Completando este análisis, encontramos algunas diferencias significativas entre los diferentes tipos de terreno, en cuanto a la intensidad media relativa al umbral. En este caso no hay diferencias entre las intensidades de los deportistas entre la intensidad media de los llanos y subidas, pero sí existen estas diferencias tanto entre los llanos y bajadas, como entre las subidas y bajadas. Esto probablemente se debe a que por un lado en el llano se puede mantener una velocidad e intensidad altas y constantes sin mayores dificultades, y en las subidas aunque la velocidad sea menor también esto posibilita en cierta medida el poder minimizar el efecto de las dificultades del terreno y poder mantener también una intensidad alta de forma

constante. Además debe tenerse en cuenta que buena parte de la subida se realizaba por un camino de cemento, lo cual facilita aún en mayor medida este aspecto. Por el contrario, en las bajadas, si los corredores no son muy experimentados, las dificultades del terreno pueden propiciar un descenso de la intensidad en términos de frecuencia cardíaca, ya que dichos condicionantes pueden afectar a la capacidad de los deportistas de poder realizar la carrera de forma constante. Esta posible menor intensidad en las bajadas, no significa que el deportista esté descansando, ya que como anteriormente se ha comentado existen otros factores que pueden afectar al rendimiento del corredor, como puede ser la fatiga periférico muscular, un factor muy a tener en cuenta en las bajadas debido a su mayor factor de impacto.

Sin embargo, de los datos obtenidos se desprende que en cuanto a esfuerzos máximos, parece desprenderse de los datos estadísticos que las intensidades son similares en todos los terrenos, ya que no existen diferencias estadísticamente significativas. Observando los datos detenidamente, parece ser que en los llanos es donde se dan los esfuerzos máximos de menor intensidad, lo cual probablemente es debido a un aspecto ya anteriormente mencionado, y es que es un terreno en el que se puede mantener fácilmente un ritmo constante, sin picos extraños, y en el que resulta sencillo regular el ritmo a cualquier corredor con cierta experiencia. Sin embargo en las subidas, por ejemplo, aunque también es posible mantener un ritmo relativamente constante, existen momentos que debido al tipo de terreno, inclinación de la rampa y otras variables, los esfuerzos se convierten en más intensos. En las bajadas, las máximas son, en la mayoría de los casos al inicio de las mismas, probablemente debido a que se comienza a bajar nada más llegar a la zona más alta lo cual, sin duda, influye en este aspecto.

Tal como se ha presentado en los resultados, a la hora de analizar posibles diferencias en los indicadores de rendimiento analizados para los diferentes tramos llanos, se observa un descenso significativo de la velocidad hasta el tercer tramo, habiendo de nuevo una aceleración en el último en el que los corredores vuelven a acercarse a la velocidad del segundo. Por lo que se aprecia un descenso del rendimiento según avanzan los kilómetros, siendo una excepción el tramo final, el cual es la última parte que lleva a meta y, por tanto, este aumento final de la velocidad es atribuible a este factor y el hecho de que los corredores decidieran terminar con un último esfuerzo máximo en esta zona. También se debe tener en cuenta que este último tramo llano tiene una ligera inclinación negativa, por lo que también ello ayuda a la hora de poder aumentar el ritmo, sin lo cual probablemente no hubiese sido posible.

Las bajadas de rendimiento en cuanto a velocidad de unos a otros tramos son grandes, siendo de casi un 10%. Ello no se corresponde con las diferencias en la intensidad medida en términos de frecuencia cardíaca. Tanto la frecuencia cardíaca media respecto al umbral, como la frecuencia cardíaca máxima respecto a la máxima de los test bajan entre un 1% y un 2% entre el primer y segundo tramo, como entre el segundo y tercero, valores muy inferiores a la caída de velocidad, y estadísticamente no significativos. Ello denota la posible fatiga periférico-muscular ya mencionada anteriormente como factor añadido al rendimiento en este tipo de carreras, ya que a pesar de mantener bastante estable la frecuencia cardíaca, la velocidad cae en mucho mayor medida, debido a esta falta de adaptación y trabajo muscular.

En el caso de las subidas, a la hora de analizar las diferencias de rendimiento entre las mismas, se observan diferencias significativas entre todas las subidas, sin excepción, con un descenso importante también de la velocidad en las sucesivas subidas. A diferencia de lo que ocurría en los llanos, y teniendo en cuenta que tras afrontar la última subida aún les quedaba una bajada y un llano (aproximadamente 8 kilómetros), en esta última subida no parece haber aceleración e incluso se da una bajada aún mayor de la velocidad que entre la primera y segunda bajadas. En este caso también se reduce la velocidad entorno a un 10% de unas bajadas a otras, y aunque tampoco se corresponden con las bajadas en la frecuencia cardíaca, éstas son más acusadas que en el caso de los llanos, reduciéndose entre un 3% y un 4% tanto las medias como las máximas entre bajadas, siendo estos datos estadísticamente significativos, a diferencia de lo que ocurría en los llanos. Por tanto, el descenso en la intensidad en el caso de las subidas será más acusado tanto en términos de pérdida de velocidad como en descenso de la frecuencia cardíaca media y máxima, aunque también parece influir en gran medida la fatiga periférico-muscular, ya que la velocidad desciende en mayor grado que la frecuencia cardíaca. Probablemente esta mayor pérdida de rendimiento en este tipo de terreno también en lo que a frecuencia cardíaca se refiere sea debido a que teniendo que afrontar desniveles importantes, la fatiga y adaptación periférico-muscular aludida anteriormente repercute en mayor medida en la capacidad de mantener el rendimiento, y oblige a los corredores a reducir la intensidad en mayor medida.

Finalmente, y para las bajadas, tal como se ha explicado en el apartado de resultados, existen también diferencias significativas en la velocidad de carrera entre unos tramos y otros, observándose diferencias significativas entre todas las bajadas, sin excepción, en forma de bajada de la velocidad. Sin embargo, en este caso, de la primera a la segunda bajada la velocidad se mantiene mucho más estable que entre los primeros llanos y subidas, a pesar de realizarse en un momento más tardío de la carrera. Sin embargo, entre la segunda y tercera bajada es en los tramos en los que la bajada de velocidad es mayor de entre todos los tramos tanto de llano, como de subida o bajada. Esto puede ser debido a la ya gran fatiga acumulada, unida a que los corredores pudieran tener cierta intencionalidad de reservar una cantidad de energía para afrontar el último llano al máximo, teniendo en cuenta el aumento de velocidad señalado anteriormente para este último tramo llano. En estos tramos, las frecuencias cardíacas tanto medias como máximas se mantienen muy estables de la primera a la segunda vuelta, podríamos decir que en consonancia con un menor descenso de la velocidad. Sin embargo en el tercer tramo ya nos encontramos con una bajada significativa de dichos indicadores de la frecuencia cardíaca, coincidiendo con un descenso acusado de la velocidad. Aunque en ambos casos, al igual que sucede en llanos y subidas, se reduce en una medida mucho mayor la velocidad que la frecuencia cardíaca, lo cual nos sigue indicando una mayor fatiga a nivel periférico muscular que a nivel cardiovascular.

En el análisis de las diferencias de rendimiento teniendo en cuenta diferentes grupos según la clasificación final vemos que en todos los grupos se dan diferencias significativas en numerosos tramos tanto llanos, como de subida y bajada, tendiendo siempre a ser una disminución de la velocidad (pérdida de rendimiento) excepto en el último tramo llano, aunque el único grupo en el que entre el tercer y cuarto tramo llanos se dan diferencias significativas es el de los deportistas más rápidos, habiendo en el caso de este grupo también diferencias significativas del primer al segundo tramo tanto de llano como de bajada. Estos datos no concuerdan con los hallados por Santos-Lozano et al. (2014) para la maratón de asfalto, en los que los deportistas de mayor nivel mantenían la velocidad en mayor medida durante toda la prueba y no realizaban un aumento significativo de velocidad al final de la prueba, mientras los deportistas más lentos salían más rápido respecto a su ritmo, perdían más velocidad durante la prueba y aumentaban de nuevo su velocidad justo al final. En los datos obtenidos en esta investigación, al contrario, parece observarse un comportamiento distinto, y al parecer en las carreras de montaña los deportistas más rápidos optan por salir de manera más veloz, regular más el ritmo relativo bajando la velocidad en la parte intermedia o quizá bajan el rendimiento debido a la salida más intensa, y finalizan aumentando la velocidad en mayor medida que los corredores más lentos. Posiblemente esto puede ser debido a que en las carreras de montaña en ocasiones la trazada puede ser fundamental, por lo que los corredores de mayor nivel optan por imponer un ritmo de salida más alto para poder colocarse adecuadamente en la entrada a zonas más técnicas de montaña, y realizar los pasos por los lugares más convenientes.

A pesar de ello, estos datos tampoco concuerdan con los obtenidos en el análisis de la frecuencia cardíaca media respecto al umbral. Parece desprenderse de dichos datos que en el caso de los mejores deportistas, a pesar de que en la velocidad sí existen diferencias significativas, tanto positiva como negativamente, la frecuencia cardíaca relativa al umbral no varía apenas, excepto en la última bajada. Esta diferencia en la última bajada podría ser debida a que conociendo mejor el terreno existe menor tensión y también a que pudieran haber reservado algo de energía para poder aumentar el ritmo en el último llano. Este mantenimiento de la frecuencia cardíaca, que no de la velocidad, puede indicar un predominio de entrenamiento de estos deportistas en base a este parámetro, y por ello disponer un buen conocimiento de su ritmo y sus capacidades, moviéndose en todo momento en unos valores similares de frecuencia cardíaca, a pesar de que la velocidad baje y sin intentar mantenerla a toda costa, para no entrar en zonas de intensidad en las que el gasto energético sería excesivo, pero soportando en buena medida dichas intensidades durante toda la prueba. Se observa una mayor bajada en la velocidad que en la frecuencia cardíaca de forma general, por lo que es probable que, tal como ya se ha comentado anteriormente, hayan pesado más factores periférico-musculares en este aspecto, ya que los deportistas parecen mantener adecuadamente su valores de FC.

En el grupo intermedio, las diferencias son notables ya que en la velocidad existieron diferencias significativas entre prácticamente todos los tramos, mientras en la frecuencia cardíaca no. En las bajadas en este caso se dan diferencias entre el segundo y tercer tramo, mientras en la velocidad la teníamos entre el primero y el

tercero. Y en las subidas en el caso de los dos parámetros existen diferencias significativas entre todos los tramos. Esta relación tan errática entre variables no facilita realizar un análisis en cuanto a la relación entre las mismas, si bien lo que sí se aprecia es un mayor descenso de la velocidad que de la frecuencia cardíaca como norma general, lo cual nos lleva a la misma conclusión que en el grupo de los más rápidos, que no es otra que el prevalimiento de factores periférico-musculares en la pérdida de rendimiento, aunque en este caso se observa una mayor sobrecarga en el sistema cardiovascular y pueda también haber influido este aspecto en mayor medida que en el grupo anterior a la pérdida de rendimiento.

Finalmente, entre los corredores más lentos prácticamente coinciden los segmentos entre los que las diferencias son significativas tanto en la frecuencia cardíaca relativa como en la velocidad. En este caso en ninguno de los dos parámetros se encuentran diferencias significativas entre tramos de bajadas ni llanos, y únicamente son coincidentes en las subidas entre 1º y 3º tramos. Esto nos hace pensar que en el caso de los corredores más lentos la fatiga se acumula a través de ambos factores, tanto cardiovascular como periférico-muscular en gran medida, por lo que tienen una mayor falta de entrenamiento y adaptación en ambos aspectos, como podría ser de esperar, por otra parte.

También resulta interesante, que analizando los datos del grupo de los primeros 6 clasificados de la prueba en lo que a frecuencia cardíaca relativa al umbral se refiere, los datos indican mucho mayores intensidades en las bajadas respecto a las alcanzadas por el resto de corredores, alcanzando valores muy próximos a los que alcanzaron en las subidas e incluso superando en algunos casos a los de los llanos, tal como se puede observar en la tabla de resultados. Son, además, valores que superan a los alcanzados por los corredores intermedios y lentos en cualquiera de los terrenos y tramos.

Y aún más, estos datos resultan más extremos si cabe si analizamos los datos del primer clasificado en la carrera, ya que indican que las mayores intensidades de carrera obtenidas por este corredor se dan en las bajadas, llegando las máximas incluso al 100% de su frecuencia cardíaca máxima en algún momento, con una frecuencia máxima en carrera respecto a su máxima en los test previos para las bajadas del 98,33%, siendo esta intensidad máxima muy superior a la de los llanos con un 95,67% y sobre todo las subidas con un 84,17%. En el caso de este deportista, sus frecuencias cardíacas medias respecto al umbral se situaron en un 98,86% en las bajadas, un 99,43% en los llanos y un 89,71% en las subidas.

Los datos del grupo de los mejores, y sobre todo los del ganador de la prueba en particular, no se corresponden con los que se extraen del conjunto de los corredores, y son indicativos de la diferencia de estrategia que puede darse en este tipo de carreras en función del nivel individual. Tomando a estos corredores del grupo de mayor nivel como referencia, y en particular al primer clasificado siendo como fue el ganador de la prueba con cierta comodidad, corriendo en solitario desde el primer avituallamiento, se podría decir que parece una buena estrategia correr los llanos y bajadas a una alta intensidad, y reservar buena parte de la energía en las subidas.

Principalmente la mayor diferencia respecto al resto de corredores se da en las bajadas, ya que como se ha comentado anteriormente globalmente son los tramos en los que la intensidad media es menor, y en el caso de este corredor es muy superior a la que lleva en las subidas, así como en conjunto de los 6 primeros también la intensidad se coloca muy por encima de la media. Como es evidente, será necesaria una buena técnica en este terreno, y probablemente sea esta una de las mayores diferencias entre los corredores de mayor nivel y los de menor nivel, una mejor técnica en bajadas y por tanto la posibilidad de poder afrontarlas a una intensidad mucho mayor.

En el apartado nutricional, y no siendo el objetivo de este trabajo realizar un análisis exhaustivo de los datos obtenidos al respecto, sino ofrecer algunos consejos para afrontar este tipo de carreras con las mayores garantías, no se han recogido en los resultados. Pero sí cabe destacar algunos aspectos relativos a los mismos, que pueden ser de gran utilidad a la hora de exponer los consejos correspondientes, que se basarán en la literatura existente y, precisamente, estas puntualizaciones.

En primer lugar, debe tenerse en cuenta que prácticamente todos los deportistas del grupo que debía consumir 120gHC a la hora fueron incapaces de ingerir todo lo que les correspondía. Así mismo, señalar que la gran mayoría de ellos tuvieron problemas gastrointestinales durante la prueba.

Por otro lado todos los corredores, independientemente del grupo al que pertenecieran, tuvieron un cierto descenso del rendimiento. Esto puede indicarnos que o bien una ingesta de 120gHC/h es insuficiente para tratar de minimizar la depleción de las reservas de glucógeno, o bien que no ingerieron dicha cantidad ya que como se ha comentado muchos de ellos no pudieron ingerir todo lo que les correspondía y además tuvieron problemas gastrointestinales.

Finalmente señalar que todos los deportistas llegaron con mayor o menor grado de deshidratación, por lo que 0,5 litros de líquido por hora de carrera se antoja insuficiente para controlar este parámetro. Si bien no se detectaron deshidrataciones severas y podrían considerarse valores asumibles en el contexto de una prueba deportiva de estas características. No obstante la carrera se llevó a cabo en condiciones de temperaturas muy suaves e incluso frías, por lo que en condiciones extremas de calor y humedad este aspecto podría resultar problemático.

Es por ello que debería considerarse insuficiente para mantener el rendimiento en carreras como la maratón de montaña una ingesta de 60gHC por hora, siendo posible más recomendable aumentar esta dosis hasta los 90-120gHC por hora, pero realizando para ello un entrenamiento del sistema digestivo (De Oliveira et al., 2014; Jeukendrup, 2017; Urdampilleta et al., 2015a), y buscando siempre el límite de tolerancia individual en entrenamientos y carreras de menor entidad. Esta ingesta puede realizarse a través de bebidas deportivas, geles deportivos o también a través de alimentos como plátanos, membrillo, dátiles, gominolas y otros.

En la dieta habitual, cuando el deportista se encuentre entrenando de forma intensa, se deberá incluir en la dieta alrededor de 6grHC/Kg de peso, pudiendo aumentar estos valores hasta los 9-10grHC/Kg de peso en momentos en los que los deportistas realizan dos entrenamientos diarios y/o en las cargas de hidratos de carbono previas a las carreras (Jeukendrup, 2011; Martínez-Sanz et al., 2013). Dicha carga de hidratos de carbono sería suficiente realizarla con aproximadamente dos días de antelación, sin necesidad de haber raealizado un vaciado previo de las reservas.

En cuanto a la hidratación, sería recomendable realizarla mediante bebidas isotónicas deportivas comerciales o caseras, en una cantidad mínima de 0,5-0,7 litros por hora de carrera, o incluso mayor para evitar la deshidratación, y con un contenido de sodio de 500-700mg por litro (Aragón, 2012, citado por Urdampilleta et al., 2013), para evitar el desequilibrio hidroelectrolítico y sus consecuencias como pueden ser los habituales calambres. El mismo día de la carrera, durante las 3-4 horas previas a la misma será interesante la toma de líquido en forma de bebida ligeramente hipotónica en cantidad aproximada de 5-7ml/kg de peso.

## **6. CONCLUSIONES**

De todo el análisis anterior, puede concluirse, que la maratón de montaña es una carrera de larga duración que se desarrolla a una intensidad media relativa algo inferior a la que se suele dar en la maratón de asfalto, pero con picos de intensidad más elevados. A pesar de que la intensidad sea algo inferior, sigue siendo una intensidad alta respecto a su duración, ya que se sitúa entorno al 94% de la frecuencia cardíaca de umbral de lactato en el caso de los primeros clasificados.

El umbral de lactato (velocidad en el mismo) parece ser el mejor predictor del rendimiento en este tipo de carreras, aunque debe combinarse con otros factores que deberán estudiarse en posteriores investigaciones, para obtener mayor precisión, como podrían ser el VO<sub>2</sub>pico y la resistencia periférico-muscular.

Los corredores de mayor nivel parecen mantener intensidades relativas mayores que los más lentos. Pero la principal diferencia entre ellos reside en que los últimos clasificados afrontan a las mayores intensidades los llanos y, sobre todo las subidas, mientras que los corredores más rápidos parecen también mantener unas altas intensidades en estos mismos terrenos, pero marcan las diferencias principalmente en las bajadas, en las cuales su intensidad relativa es mucho mayor que en el caso de los de nivel medio y bajo, y también en los llanos en cierta medida, con medias en estos dos tipos de tramo tan cercanas al umbral como las que se dan en la maratón de asfalto.

El rendimiento a lo largo de la carrera decrece tanto en los corredores de mayor como en los de menor nivel, pero en los primeros, la fatiga no parece afectar en gran medida al sistema cardiovascular, por lo que ésta vendrá principalmente determinada por factores periférico-musculares por una falta de entrenamiento de fuerza. Mientras que en los corredores más lentos, sí parece que dicha fatiga es debida, además de a los

factores periférico-musculares, también a una fatiga del sistema cardiovascular, en este caso por una falta de entrenamiento tanto a nivel de fuerza como de resistencia.

Teniendo en cuenta la duración de la prueba, la intensidad relativa a la que se desarrolla la misma es elevada, lo cual produce irremediamente una depleción de las reservas de glucógeno y, adicionalmente, si no se mantiene un protocolo de hidratación adecuado se caerá en la deshidratación. Es por ello que debe realizarse previamente una carga suficiente de hidratos de carbono y llegar en un estado óptimo de hidratación, así como una ingesta durante la carrera adecuada tanto de hidratos de carbono como de líquidos que permitan también la reposición electrolítica, habiendo realizado previamente un entrenamiento del sistema digestivo para tratar de evitar problemas gastrointestinales.

## **7. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Una de las principales limitaciones de esta investigación ha sido el limitado número de participantes de la misma, así como el bajo porcentaje de mujeres. Por otro lado, la muestra de participantes no puede considerarse homogénea en cuanto al nivel deportivo, aunque por otro lado esto puede convertirse en una ventaja ya que, tal como se ha reflejado, pueden realizarse comparativas entre corredores de diferentes niveles.

Por otro lado, la falta de financiación no permitió la adquisición y utilización de aparatos idénticos para la grabación de velocidades, distancias y frecuencias cardíacas.

Se ha detectado algunos datos erráticos en algunas mediciones de pulso en las bajadas, posiblemente por una mala colocación de la banda pectoral o debido a que pudieran moverse. Se han desechado los datos que se han considerado erróneos para no distorsionar la muestra. En futuras investigaciones sería interesante utilizar sistemas más estables o instruir a los corredores en la colocación de la banda.

La prueba de maratón realizada, además, a pesar de realizarse en formato de carrera real, con cronometrajes oficiales, recorridos marcados, avituallamientos y otros elementos habituales en pruebas de montaña, fue una simulación. Es decir, no se trataba de una prueba carrera oficial enmarcada en un calendario de pruebas, con premios en metálico o en forma de trofeo u otros. Podría ser de gran interés realizar este tipo de estudios en carreras reales.

En el caso de futuras investigaciones sería interesante poder diseñar un recorrido con una mayor presencia de caminos de montaña (tierra, piedra, hierba, etc) y/o enmarcado en una carrera oficial, así como poder contar con un mayor número de mujeres participantes para poder también constatar la posible existencia de diferencias por sexo en los ritmos y estrategias de carrera.

## **8. AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría, en primer lugar, agradecer su inestimable ayuda a mi tutora de este Trabajo de Fin de Máster, la Doctora Pilar Sánchez Collado, por su colaboración, consejo y paciencia, ya que sin su apoyo no habría sido posible la finalización del mismo.

Así mismo, agradecer la confianza depositada en mi persona por el Doctor Aritz Urdampilleta (<http://www.drurdampilleta.com/>), por contar conmigo en su equipo de trabajo para la investigación en la que se enmarcan los datos aportados en este trabajo, así como su apoyo y amistad durante estos últimos 4 años, y su inestimable ayuda en todos los ámbitos, tanto académico, como profesional y personal.

En el mismo sentido, agradecer al Centro ElikaEsport (<http://www.elikaesport.com/>) y sus responsables por la inmejorable organización y colaboración en esta investigación mediante la utilización de sus magníficas instalaciones y recursos, así como por permitirme formar parte del equipo humano que lo forma (<https://www.youtube.com/watch?v=AcGpNWcmmhs/>).

Hacer extensivo este agradecimiento a todos los integrantes del grupo investigador y los colaboradores que tomaron parte en estas jornadas en las que se desarrolló la investigación, ya que sin la participación de todos y cada uno de ellos, no habría sido posible llevarla a cabo.

Finalmente agradecer a mi pareja, mi hija, familia y amigos el apoyo recibido durante todos estos años de estudios y en especial en este año de tantas dificultades y cambios en el ámbito personal, esperando poder corresponderles en el futuro con un desempeño de mi profesión acorde al mismo.

## **9. REFERENCIAS**

- Alonso Curiel, D., & del Campo Vecino, J. (2002). La aplicación de los ritmos de carrera en el entrenamiento de la prueba de maratón para la mejora del rendimiento. *Kronos, rendimiento en el deporte*, 2(2).
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 32(1), 70-84. doi: 10.1097/00005768-200001000-00012
- Billat, V., Bernard, O., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. (1994). Time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max and lactate steady state velocity in sub elite long-distance runners. *Archives Internationales de Physiologie, de Biochimie et de Biophysique*, 102(3), 215-219. doi: 10.3109/13813459409007541
- Billat, V., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztein, J. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 33(12), 2089-2097. doi: 10.1097/00005768-200112000-00018
- Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Billat, V., Demarle, A., Paiva, M., & Koralsztein, J. (2002). Effect of Training on the Physiological Factors of Performance in Elite Marathon Runners (Males and Females). *International Journal Of Sports Medicine*, 23(5), 336-341. doi: 10.1055/s-2002-33265
- Boileau R., Mayhew J., Riner W., & Lussier L. (1982). Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Canadian Journal of Applied Sports Science*, 7, 167—112.
- Casa, D., Stearns, R., Lopez, R., Ganio, M., McDermott, B., Walker Yeargin, S. et al. (2010). Influence of Hydration on Physiological Function and Performance During Trail Running in the Heat. *Journal of Athletic Training*, 45(2), 147-156. doi: 10.4085/1062-6050-45.2.147
- Clemente-Suárez, V., Martínez Valencia, A., Parrilla Briega, I., & González-Ravé, J. M. (2010a). Modificaciones del lactato sanguíneo y RPE en una prueba de ultrarresistencia de alta montaña. En *I Congreso Internacional de Ciencias del Deporte de la UCAM (Área de rendimiento deportivo): vol. 5* (p. 40). Murcia, España: UCAM.

- Clemente-Suárez, V., Ramos Campo, D. & González-Ravé, J. M. (2010b). Modificaciones antropométricas después de realizar una maratón alpina. En *II Congreso Internacional de Ciencias del Deporte de la UCAM (Área de rendimiento deportivo): vol. 5* (p. 161). Murcia, España: UCAM.
- Clemente-Suárez, V. (2011). Modificaciones de parámetros bioquímicos después de una maratón de montaña. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 27, 75-83.
- Clemente-Suárez, V. (2017). Cortical arousal and central nervous system fatigue after a mountain marathon. *Cultura, ciencia y deporte: revista de ciencias de la actividad física y del deporte de la Universidad Católica de San Antonio*, 12(35), 143-148. doi: 10.12800/ccd.v12i35.886
- Costill, D., & Fox, E. (1969). Energetics of marathon running. *Medicine & Science in Sports*, 1, 81-86.
- Costill, D. (1972). Physiology of Marathon Running. *JAMA: The Journal Of The American Medical Association*, 221(9), 1024. doi: 10.1001/jama.1972.03200220058013
- Costill, D., Thomason, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine & Science in Sports*, 5(4), 248-252.
- Costill, D. (1976). The relation between selected physiological variables and distance running performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 7(2), 61-66.
- Davies, C. T. M., & Thompson, M. W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 41(4), 233-245.
- Earle, R. W., & Baechle, T. R. (2008). *Manual NSCA: Fundamentos del entrenamiento personal*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Egocheaga, J. (2005). Condición física y requerimientos metabólicos en maratonianos de montaña de alto nivel. *Apunts, Medicina de l'esport*, 146, 31-36.
- Endicott, W.T. (1992). *The Barton Mold*. Bethesda, Maryland.
- Föhrenbach, R., Mader, A., & Hollmann, W. (1987). Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *International Journal of Sports Medicine*, 8, 11-18.

- Foster, C., Daniels, J., & Yarbrough, R. (1977). Physiological and training correlates of marathon running performance. *Australian Journal of Sports Medicine*, 9, 58-61,
- Goulet, E.D.B., Mélançon, M. O., & Madjar, K. (2008). Meta-analysis of the effect of exercise-induced dehydration on endurance performance [abstract]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5):S396.
- Hagan, R., Smith, M., & Gettman, L. (1981). Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 13, 185–189.
- Helgerud, J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performance level in marathons. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 155-161.
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance Sports: marathon, triatlón and road cycling. *Journal of Sports Science*, 29(sup1), S91-S99.
- Jeukendrup, A. E. (2017). Training the gut for athletes. *Sports Medicine*, 47(1), 101-110.
- Knechtle, B., Nikolaidis, P. T., Zingg, M. A., Rosemann, T., & Rüst, C. A. (2017). Differences in Age of Peak Marathon Performance between Mountain and City Marathon Running - The 'Jungfrau Marathon' in Switzerland. *The Chinese Journal of Physiology*, 60(1), 11-22. doi: 10.4077/cjp.2017.bae400
- Kratz, A., Lewandrowski, K., Siegel, A., Chun, K., Flood, J., Van Cott, E., & Lee-Lewandrowski, E. (2002). Effect of Marathon Running on Hematologic and Biochemical Laboratory Parameters, Including Cardiac Markers. *American Journal of Clinical Pathology*, 118(6), 856-863. doi: 10.1309/14ty-2tdj-1x0y-1v6v
- Legaz Arrese, A., Munguía Izquierdo, D., & Serveto Galindo, J. (2006). Physiological Measures Associated with Marathon Running Performance in High-Level Male and Female Homogeneous Groups. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 289-295. doi: 10.1055/s-2005-865628
- Leibar, X., Arratibel, I., & Abellán, A. (1994). Una propuesta de valoración, seguimiento y control del maratoniano de alto nivel. En Plata et al. (Ed.). *El maratón, aspectos técnicos y científicos* (pp. 213-255). Madrid, España: Alianza editorial.
- Leibar X., Arratibel I., Lekue J., & Aramendi J. (2004). Aspectos biomédicos del maratón. *Atletismo español*, 446, 39-46.
- López Chicharro, J., & Fernández Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Madrid, España: Médica Panamericana.

- Manno, R., Manno, V., & Ricard i Pidelaserra, F. (1991). *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Martínez-Sanz, J. M., Urdampilleta, A., & Mielgo-Ayuso, J. (2013). Necesidades energéticas, hídricas y nutricionales en el deporte. *European Journal of Human Movement*, 30, 37-52.
- Maughan, R., & Leiper, J. (1983). Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 52(1), 80-87. doi: 10.1007/bf00429030
- Nebot, V., Drehmer, E., Elvira, L., Sales, S., Sanchís, C., Esquius, L., & Pablos, A. (2015). Efectos de la ingesta voluntaria de líquidos (agua y bebida deportiva) en corredores por montaña amateurs. *Nutrición Hospitalaria*, 32(5), 2198-2207.
- Platonov, V. N. (2001). *Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico*. Editorial Paidotribo.
- Pollock, M. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301(1), 310-322.
- Rousanoglou, E. N., Noutsos, K., Pappas, A., Bogdanis, G., Vagenas, G., Bayios, I. A., & Boudolos, K. D. (2016). Alterations of vertical jump mechanics after a half-marathon mountain running race. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(2), 277-286.
- Rusko, H., Havu, M., & Karvinen, E. (1978). Aerobic performance capacity in athletes. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 38(2), 151-159.
- Saltin, B., & Astrand, P. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Santos-Lozano, A., Sánchez Collado, P., Foster, C., Lucia, A. & Garatachea, N. (2014). Influence of sex and level on marathon pacing strategy. Insights from the New York City race. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), 933-938. doi: 10.1055/s-0034-1367048.
- Santos-Lozano, A., Angulo A. M., Sánchez Collado, P., Sanchis-Gomar, F., Pareja-Galeano, H., Fiuza-Luces, Lucia, A. & Garatachea, N. (2015). Aging's effects on marathon performance: insights from the New York City race. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 10(7):840-847. doi: 10.1123/ijsp.2014-0366.

- Saugy, J., Place, N., Millet, G. Y., Degache, F., Schena, F., & Millet, G. P. (2013). Alterations of neuromuscular function after the world's most challenging mountain ultra-marathon. *PLoS One*, 8(6), e65596.
- Seiler, S., & Kjerland, G.O. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 49-56.
- Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *Sportscience*, 13, 32-53.
- Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. (2004). *Superentrenamiento*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Sjödín, B., & Svedenhag, J. (1985). Applied Physiology of Marathon Running. *Sports Medicine*, 2(2), 83-99.  
doi: 10.2165/00007256-198502020-00002
- Svedenhag, J., & Sjödín, B. (1984). Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 255-261.
- Tam, E., Rossi, H., Moia, C., Berardelli, C., Rosa, G., Capelli, C., & Ferretti, G. (2012). Energetics of running in top-level marathon runners from Kenya. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3797-3806.  
doi: 10.1007/s00421-012-2357-1
- Tam, N., Hew-Butler, T., Papadopoulou, E., Nolte, H., & Noakes, T. (2009). Fluid Intake and Changes in Blood Biochemistry, Running Speed and Body Mass During an 80 km Mountain Trail Race. *Medicina Sportiva*, 13(2), 108-115. doi: 10.2478/v10036-009-0017-2
- Tanaka K., & Matsuura Y. (1984). Marathon performance, anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation. *Journal of Applied Physiology*, 57(3), 640-643.
- Tanaka, K., Nakadomo, F., Fukuda, T., & Watanabe, K. (1988). Metabolic and ventilatory responses during race pace at marathon. *The Annals of Physiological Anthropology*, 7(1), 15-21.
- Urdampilleta A., Sánchez, S, & Martínez, J.M. (2013). Fisiología del esfuerzo: análisis de los factores limitantes y propuesta práctica para la planificación nutricional para la maratón. *EFDdeportes.com, Revista Digital*. Buenos Aires, 186, Junio 2013. <http://www.efdeportes.com/efd186/los-factores-limitantes-para-la-maraton.htm>

- Urdampilleta, A., Giménez, J., & Roche, E. (2015a). *Bases biológicas para el asesoramiento nutricional y deportivo personalizado*. San Sebastián: Erikaesport Editorial.
- Urdampilleta, A., Giménez, J., & Roche, E. (2015b). *Planificación nutricional y deportiva personalizada. Nutrición, entrenamiento, suplementación y estrategias motivacionales*. San Sebastián: Erikaesport Editorial.
- Urdampilleta, A., & Mielgo-Ayuso, J. (2016). *Cafeína: Rendimiento deportivo y riesgos médico-nutricionales*. San Sebastián: Erikaesport Editorial.
- Urdampilleta, A., & Sauló, A. (2016). *Entrenamiento en ayunas: Fisiología, metabolismo de las grasas y evidencia científica sobre su eficacia*. San Sebastián: Erikaesport Editorial.
- Van Handel, P., & Puhl, J. (1983). Sports physiology: testing the athlete. *Clinics in Sports Medicine*, 2(1), 19-30.
- Vernillo, G., Savoldelli, A., Skafidas, S., Zignoli, A., La Torre, A., Pellegrini, B. et al. (2016). An Extreme Mountain Ultra-Marathon Decreases the Cost of Uphill Walking and Running. *Frontiers in Physiology*, 7. doi: 10.3389/fphys.2016.00530
- Weineck, J. (2005). *Entrenamiento total*. Barcelona, España: Paidotribo.
- Wilmore, J. H., y Costill, D. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona, España: Paidotribo.