

¿QUÉ ALTERACIONES FISIOLÓGICAS INDUCIDAS POR REALIZAR UNA ULTRA-TRAIL Y CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL CORREDOR AFECTAN A LA APARICIÓN DE CALAMBRES MUSCULARES?

YOLANDA REAL KOTBANI



Tutora: Bárbara Hernando Fuster

Unidad Predepartamental de Medicina

Mayo 2021



TRABAJO DE FIN DE GRADO (TFG)- MEDICINA

EL/LA PROFESOR/A TUTOR/A hace constar su **AUTORIZACIÓN** para la Defensa Pública del Trabajo de Fin de Grado y **CERTIFICA** que el/la estudiante lo ha desarrollado a lo largo de 6 créditos ECTS (150 horas)

TÍTULO del TFG: ¿Qué alteraciones fisiológicas inducidas por realizar una ultra-trail y características intrínsecas del corredor afectan a la aparición de calambres musculares?

ALUMNO/A: YOLANDA REAL KOTBANI

DNI: 54013055Q

PROFESOR/A TUTOR/A: BARBARA HERNANDO FUSTER

Fdo (Tutor/a): 

COTUTOR/A INTERNO/A (Sólo en casos en que el/la Tutor/a no sea profesor/a de la Titulación de Medicina):

Fdo (CoTutor/a interno):

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1. RESUMEN	5
2. ABSTRACT	6
3. EXTENDED SUMMARY	7
4. INTRODUCCIÓN	9
4.1. ¿QUÉ ES UN ULTRA TRAIL? ¿QUÉ ES LA PENYAGOLOSA TRAILS CSP?	9
4.2. PROYECTO PENYAGOLOSA TRAIL SALUDABLE WOMEN	11
4.2.1. PRUEBA DE ESFUERZO	11
4.2.2. ACELERÓMETRO	13
4.2.3. MARCADORES DE DAÑO MUSCULAR	14
4.2.4. MARCADORES DE DESHIDRATACIÓN	16
4.3. CALAMBRES MUSCULARES	16
5. JUSTIFICACIÓN	17
6. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	17
6.1. OBJETIVO PRIMARIO	17
6.2. OBJETIVO SECUNDARIO	17
7. MÉTODOS	18
7.1. PARTICIPANTES DEL ESTUDIO Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN	18
7.2. CRITERIOS ÉTICOS DE INVESTIGACIÓN	19
7.3. RECOGIDA DE DATOS	19
7.4. ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE ESFUERZO	20
7.5. ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOQUÍMICOS	20
7.6. TRATAMIENTO DE DATOS	21
7.7. VARIABLES DE ESTUDIO	22
7.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
8. RESULTADOS	24
8.1. FACTORES DE RIESGO DE CALAMBRES MUSCULARES	24
8.2. DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES	28
9. DISCUSIÓN	31
9.1. ¿CUÁLES SON LOS FACTORES DE RIESGO DE CALAMBRES MUSCULARES?	31

9.2.	¿QUÉ DIFERENCIAS HAY EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO, EL DAÑO MUSCULAR Y LA DESHIDRATACIÓN SEGÚN EL SEXO DEL CORREDOR?	32
9.3.	LIMITACIONES Y SESGOS DEL ESTUDIO	34
9.4.	PERSPECTIVA DE FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	35
9.5.	IMPLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS HALLAZGOS DE ESTE ESTUDIO	36
10.	CONCLUSIONES	36
11.	AGRADECIMIENTOS	37
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
13.	ANEXOS	42

1. RESUMEN

Introducción y objetivos: Las carreras de ultra-trail son carreras de características extremas, cada vez más populares, que tienen una cierta repercusión fisiológica en los deportistas. El objetivo principal de este trabajo es estudiar la aparición de calambres musculares, el daño muscular y la deshidratación temporal que sufren los corredores tras las ultramaratonas de montaña mediante la evolución de parámetros medibles. También se tiene como objetivo estudiar las diferencias de rendimiento, daño muscular y deshidratación entre sexos.

Metodología: Para ello, se han seleccionado 32 corredores amateurs que participaron en la Penyagolosa Trails CSP 2019 (19 hombres y 13 mujeres). Se obtuvieron datos del rendimiento deportivo mediante una prueba de esfuerzo previa a la carrera, un acelerómetro en la muñeca de cada corredor y también análisis sanguíneos antes y después de la carrera. También se preguntó quiénes habían sufrido calambres musculares durante la carrera. Los datos se analizaron mediante el programa SPSS con pruebas no paramétricas.

Resultados y discusión: Los corredores con calambres musculares tienen mayor edad que los que no sufren calambres ($p=0,022$). No existen diferencias significativas en parámetros antropométricos, ergométricos ni en niveles basales de biomarcadores según la aparición de calambres musculares ni tampoco en los incrementos relativos de biomarcadores de daño muscular y deshidratación ($p>0,05$). Los hombres pierden aproximadamente un 2,5% más de peso que las mujeres durante la carrera ($p=0,001$) pero no muestran diferencias significativas en el rendimiento relativo ni en los incrementos del resto de biomarcadores ($p>0,05$). Todos los corredores varían significativamente su rendimiento relativo en cada tramo de la carrera ($p<0,006$), indicando fatiga.

Palabras clave: trail-running, rendimiento en ultrarresistencia, prueba de esfuerzo con ejercicio, biomarcadores, calambres asociados al ejercicio físico.

2. ABSTRACT

Introduction and objectives: Ultra-trail are extremely popular races that have a significant physiological impact on athletes. The main objective of this work is to study the incidence of muscle cramps, muscle damage and temporary dehydration suffered by runners after racing a mountain ultramarathon by measuring several biomarkers. In addition, this final degree Project also aim at studying differences in performance, muscle damage and dehydration between sexes.

Methodology: To do this, 32 amateur runners who finished the Penyagolosa Trails CSP 2019 (19 men and 13 women) were selected. Sports performance and physiological data were obtained through a pre-race stress test, an accelerometer on each runner's wrist and blood tests before and after the race. We also wondered who had suffered muscle cramps during the race. The data was analyzed using the SPSS program with non-parametric tests.

Results and discussion: Runners with muscle cramps are older than those without cramps ($p=0,022$). There are no significant differences in anthropometric, ergonomic or basal levels of biomarkers depending on the appearance of muscle cramps or in the relative increases of biomarkers associated with muscle damage and dehydration ($p>0,05$). Males lose approximately 2,5% more body mass than females during the race ($p=0,001$) but no significant sex-differences were shown in relative performance and in other biomarkers analysed ($p>0,05$). All runners significantly vary their relative performance in each section of the race ($p<0,006$), denoting fatigue.

Keywords: trail running, ultra-endurance performance, exercise stress testing, ergometry, biomarkers, exercise associated muscle cramps (EAMC).

3. EXTENDED SUMMARY

Introduction and objectives: In recent years, the results of numerous marathon studies have shown that strenuous physical exercise temporarily produces significant changes in biomarkers associated with physiological damage. Due to the growing popularity of ultra-trails (the number of participants has significantly increased in the last few years) the scientific community has increased its interest in knowing the effect of such ultra-endurance races on athletes' health.

One of the biggest performance problems in these races is muscle cramping. As main objective, we aimed at investigating the risk factors of muscle cramps, as well as if there are differences in muscle damage and dehydration between runners with and without cramps.

In this regard, this final degree Project is focused on analyzing the performance, muscle damage and dehydration of mountain ultramarathon participants through the Penyagolosa Trails Saludable Women project. Secondly, we want to study whether there are significant differences between men and women in relative performance throughout the race, as well as in increasing markers of muscle damage and dehydration.

Methodology: This study includes 32 finishers (13 women and 19 men) of the Penyagolosa Trails CSP 2019. For each runner, data from an ergoespirometry ($VO_2\max$, $VT_1\max$ and $V\max$) as well as anthropometric data (age, body mass, height, BMI) were collected prior to the race. Body mass was also collected in the finish line. Blood and urine tests were performed before and immediately after the race in order to collect levels of creatin-kinase (CK) and lactate-dehydrogenase (LDH) enzyme as well as urine density. During the race the runners wore an accelerometer to record the moving time and answered a questionnaire about whether they had suffered muscle cramps during each section of the ultra-trail. Subsequently, the percentages of increase in the speed relative to $VT_1\max$ (ΔVT_1), CK (ΔCK), LDH (ΔLDH), urine density ($\Delta \text{Density}$) and body mass ($\Delta \text{Body mass}$) were calculated.

The SPSS program has been used for statistical analysis and non-parametric tests have been selected because not all variables were normally distributed.

Results: Age is distributed differently depending on the onset of muscle cramps ($p=0,022$), with older individuals presenting a higher predisposition to muscle cramps. There are no significant differences in anthropometric parameters (height, weight and BMI) , ergonomic parameters ($VO_2\max$, $VT_1\max$ y $V\max$) and biomarker basal levels (CK, LDH and urine density) between runners with and without muscle cramps ($p>0,05$). Nor do they differ in the relative

increases of biomarkers associated with muscle damage (Δ CK and Δ LDH) and dehydration (urine density and body mass).

In regards of sex differences, males lose more body mass during the race than females (-2,5% men vs -0% female, $p=0,001$). Although males have higher BMI and higher maximum speed, there are no sex-differences in the relative performance throughout the race ($p>0,05$). Relative increases in biomarkers (Δ CK, Δ LDH and Δ Density) show no significant differences between males and females ($p>0,05$). All runners in the study, regardless of sex, significantly vary their relative effort in the different sections of the race ($p<0,006$).

Discussion and conclusions: Results from previous studies have shown a controversy over the causes of muscle cramps associated with exercise. In our study, we concluded that being older than 35 years could be a factor for muscle cramps predisposition. On the other hand, we have not found significant differences in the rest of the anthropometric, ergometric and biomarker variables analyzed between runners with and without cramps.

Males seems to lose approximately 2,5% more body mass than females after finishing the Penyagolosa Trails CSP, but no significant sex-differences were shown in the relative increases of the other biomarkers explored. Runners of this study do not show differences between sexes in terms of relative effort throughout the race, but all significantly vary their relative performance in each one of the main sections of the race due to the increasing positive unevenness and accumulated fatigue.

The increasing participation of females in mountain ultramarathons could encourage the increase in the number of sex-sensitive research that will clarify the physiological differences between males and females in this type of studies in the coming years.

4. INTRODUCCIÓN

4.1. ¿QUÉ ES UN ULTRA TRAIL? ¿QUÉ ES LA PENYAGOLOSA TRAILS CSP?

Las carreras de ultra-trail son pruebas deportivas de larga distancia a pie que se realizan en un entorno natural, el cual debe tener un mínimo del 80% de caminos sin cimentar. Un ultra-trail se caracteriza por tener un recorrido con una distancia mayor que la de un maratón estándar (42,195km) y por ser una carrera de en semi-autosuficiencia (1,2).

Según la distancia y dureza del recorrido, la International Trail Running Association (ITRA), clasifica las carreras de ultra-trail en 7 categorías desde XXS hasta XXL (3). La Penyagolosa Trails CSP es una ultra-trail de categoría XL ya que consta de un recorrido total de 110,1 km con un desnivel positivo de 5600 metros y un desnivel negativo de 4400 metros. A continuación se especifica el track de la carrera (figura 1), que tiene la salida en Castellón, a nivel del mar, concretamente en la Plaza de las Aulas y finaliza en la ermita de Sant Joan de Penyagolosa, a 1280 metros de altitud:

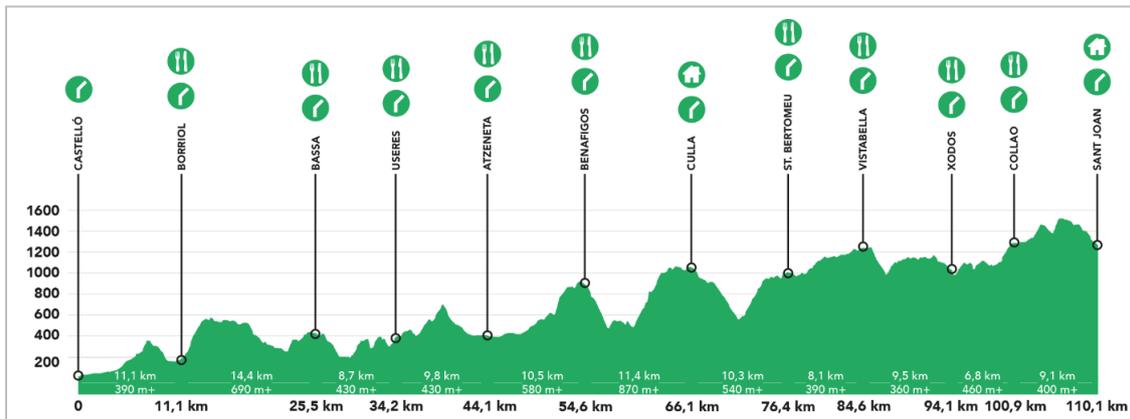


Figura 1. Recorrido de la ultramaratón de montaña Penyagolosa Trails con los puntos de control y avituallamientos (4).

La duración máxima de la prueba alcanza las 27 horas, siendo la salida a las 00 horas del primer día y finalizando a las 03 horas del segundo día. Esta carrera puntúa para el circuito nacional de ultra trail, la Spain Ultra Cup, y para el internacional de Ultra Trail World Tour, siendo, además, clasificatoria para la Western States Endurance Run 2020.

Como en todas las ultra-trails incluidas en el Ultra Trail World Tour, la Penyagolosa Trails CSP es una carrera que el corredor realiza en régimen de semi-autosuficiencia, es decir, los corredores deben responsabilizarse de sus necesidades nutricionales y de vestuario en cada avituallamiento, pudiendo ser controlado por la organización de la carrera (4). Asimismo, la organización de la ultratrail especifica el material que deben llevar los corredores (figura 2), siendo una parte obligatoria y otra recomendada.

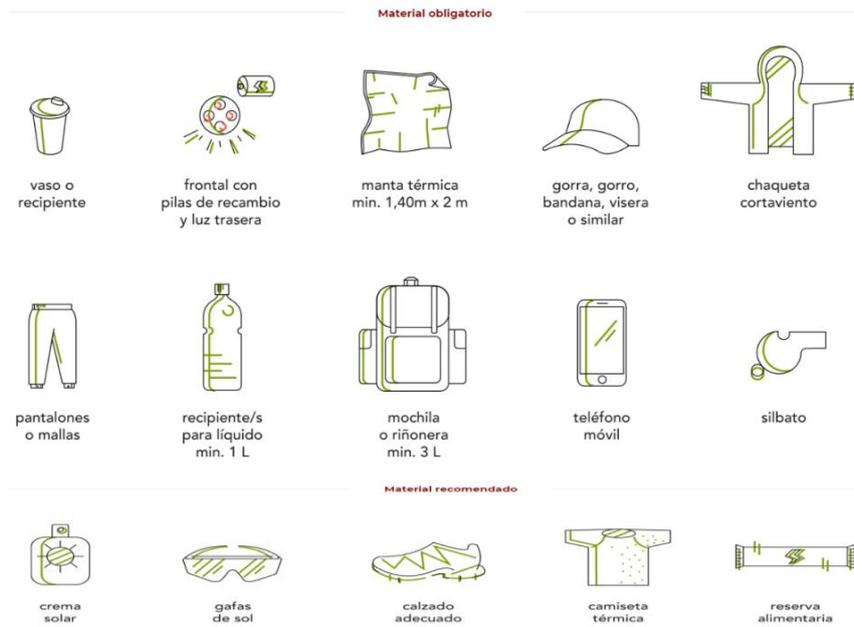


Figura 2. Material que propone la organización de la carrera Penyagolosa Trails para su participación (4).

El tiempo de los corredores se toma en la llegada de todos los controles mediante un chip en el dorsal. Se establecen controles con tiempos máximos de paso (Tabla 1) en los cuales los responsables del puesto pueden decidir retirar a los participantes que sobrepasen estos tiempos.

CONTROL	KM	D+	D-	km	d+	d-	ASITENCIA EXT.	P. RETIRADA	CORTE	HORA
BORRIOL	10,9	413	252	10,9	413	252	SI	NO	1h 55'	01:55h
La Bassa	24,9	111	716	14	698	464	NO	NO	4h 40'	04:40h
LES USERES	33,7	1566	1195	8,7	455	479	SI	SI	6h 30'	06:30h
ATZENETA	43,3	2005	1621	9,5	439	426	SI	SI	8h 30'	08:30h
BENAFIGOS	53,6	2609	1692	10,3	604	71	SI	SI	11h 00'	11:00h
CULLA	66	3492	2455	12,3	883	763	SI	SI	14h 40'	14:40h
Sant Bertomeu	76,2	4013	3029	10,1	521	574	NO	NO	17h 30'	17:30h
VISTABELLA	84,2	4386	3168	8	373	139	SI	SI	19h 20'	19:20h
XODOS	93,3	4776	3754	9	390	586	SI	NO	22h 00'	22:00h
Collao	99,8	5216	3949	6,5	439	195	NO	NO	24h 00'	24:00h
SANT JOAN	107,4	5604	4356	7,5	389	407	SI	SI	27h 00'	03:00h

Tabla 1. Puntos de control de la carrera, se especifican en cuáles hay asistencia externa y son puestos de retirada de participantes con una hora de corte máxima. Se concretan los kilómetros recorridos, el desnivel mínimo (d-) y máximo (d+) de cada tramo (4).

4.2. PROYECTO PENYAGOLOSA TRAIL SALUDABLE WOMEN

Penyagolosa Trails Saludable se ha desarrollado desde 2014 hasta este año como parte de los proyectos de investigación saludable del Servei d'Esports de la Universitat Jaume I de Castellón. Es un proyecto pionero a nivel nacional que ha sido posible gracias a la colaboración del club de montañismo Desert Amunt y Penyagolosa Trails. Este proyecto de investigación ha sido banco de pruebas para estudiar mejoras de la salud de los corredores por medio de la toma de datos antes, durante y después de la carrera, con el objetivo de profundizar en el mundo de las pruebas de larga duración desde el punto de vista de la salud. El objetivo del proyecto de esta edición se focaliza, en primer lugar, en ver las diferencias existentes en la repercusión de un trabajo de larga duración entre los hombres y las mujeres. Y, en segunda instancia, en mantener una línea investigadora creciente a nivel nacional que permita obtener datos para una mejora de la salud de los corredores y las corredoras (5).

Los datos que se miden en la investigación de este proyecto son: conocer los hábitos de entrenamiento de los participantes, su estado de forma física (ecocardiografías y pruebas de esfuerzo con analizador de gases), su capacidad de generar niveles de fuerza antes y después de la carrera, la evolución de los parámetros fisiológicos, antropométricos y su evolución, percepción subjetiva del esfuerzo durante la carrera, respuesta cardiaca al esfuerzo, parámetros sanguíneos antes del inicio de carrera y después, espirometría y además las variables genéticas relacionadas con el rendimiento físico y su recuperación (5). Entre la amplia variedad de parámetros analizados el presente trabajo de investigación se centra en los valores obtenidos mediante la prueba de esfuerzo, los análisis del acelerómetro que llevan los corredores y los cambios de varios biomarcadores después de la carrera.

4.2.1. PRUEBA DE ESFUERZO

Varias semanas antes de la carrera se ha hecho a cada participante una prueba de esfuerzo máxima sobre una cinta de correr, con analizador de gases para conocer el consumo máximo de oxígeno y la evolución del cociente respiratorio (5). Esta prueba de esfuerzo cardiopulmonar, también llamada ergometría, es una evaluación objetiva de la capacidad de ejercicio. Cada vez es más popular en entornos clínicos, de investigación y de rendimiento deportivo. La ergometría permite investigar el funcionamiento de los sistemas cardiovascular, pulmonar y músculo-esquelético durante el estrés inducido por el ejercicio.

La variable principal del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx) refleja la medida gold standard de la capacidad de rendimiento máximo (6). El VO_2 máx es el parámetro ergométrico más

representativo del funcionamiento integral del organismo. A partir de este parámetro se puede obtener el gasto cardíaco, mediante la ecuación de Fick (7).

Las personas sanas sin alto nivel deportivo alcanzan valores de VO_2 máx de 30-45 mL O_2 /kg/min, mientras que, ciclistas, esquiadores de fondo y corredores de maratón de élite pueden alcanzar valores de alrededor de 80 mL O_2 /kg/min. Es más alto en hombres que en mujeres normalmente. El VO_2 máx puede estimarse aproximadamente sin una medición directa del intercambio de gases por medio del rendimiento máximo alcanzado mediante bicicleta ergométrica o mediante ergometría en cinta, ya que la curva de consumo de oxígeno frente al rendimiento físico es casi una línea recta cuando se utilizan los ajustes habituales de la prueba ergométrica(8).

Otros dos datos que nos aporta la prueba de esfuerzo y que empleamos también en este estudio son los umbrales ventilatorios: VT_1 (aeróbico) y VT_2 (anaeróbico). Estos umbrales indican un cambio fisiológico de obtención de energía. El primer umbral ventilatorio (VT_1) se define como aquella intensidad de ejercicio en la cual comienza a acumularse el lactato mientras el incremento del volumen de O_2 y de CO_2 crece proporcionalmente. El segundo umbral ventilatorio (VT_2) se define como la intensidad en la que el lactato aumenta mientras se produce acidosis metabólica, ya que se incrementa la ventilación de forma desproporcionada (CO_2 se incrementa más rápido que el O_2) y se comienza la glucólisis anaeróbica (Figura 3) (9).

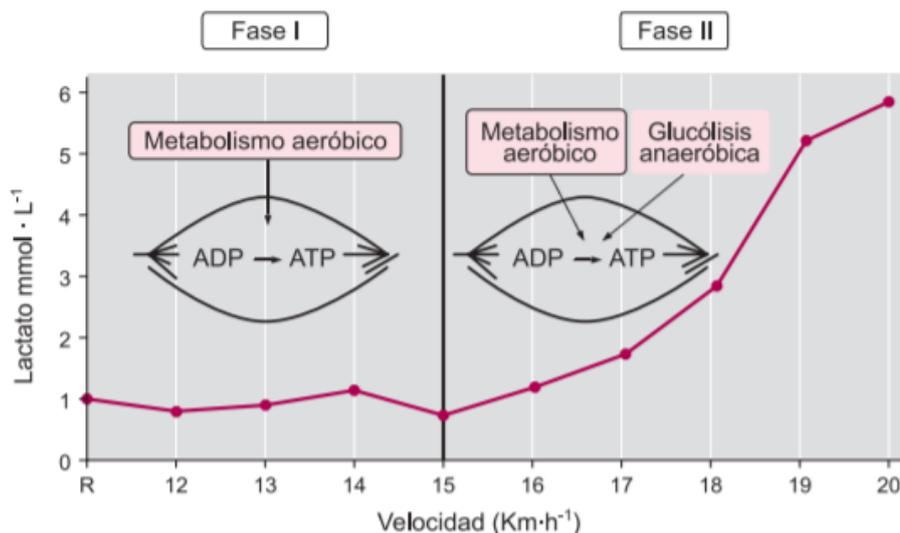


Figura 3. Transición aeróbica-anaeróbica. Participación de los sistemas energéticos aeróbico y anaeróbico (glucólisis anaeróbica) durante un ejercicio incremental en relación con el comportamiento de la concentración de lactato en sangre. Fase I: zona metabólica en la que un ejercicio es soportado esencialmente con el metabolismo aeróbico u oxidativo; Fase 2: fase en la que el metabolismo que aporta los ATP es el aeróbico u oxidativo más el anaeróbico de la glucólisis. ADP: difosfato de adenosina. ATP: trifosfato de adenosina (10).

El umbral VT1 se sobrepasa con un ejercicio de alto volumen pero baja intensidad mientras que el umbral VT2 se pasa en entrenamientos de intervalos de alta intensidad (Figura 4).

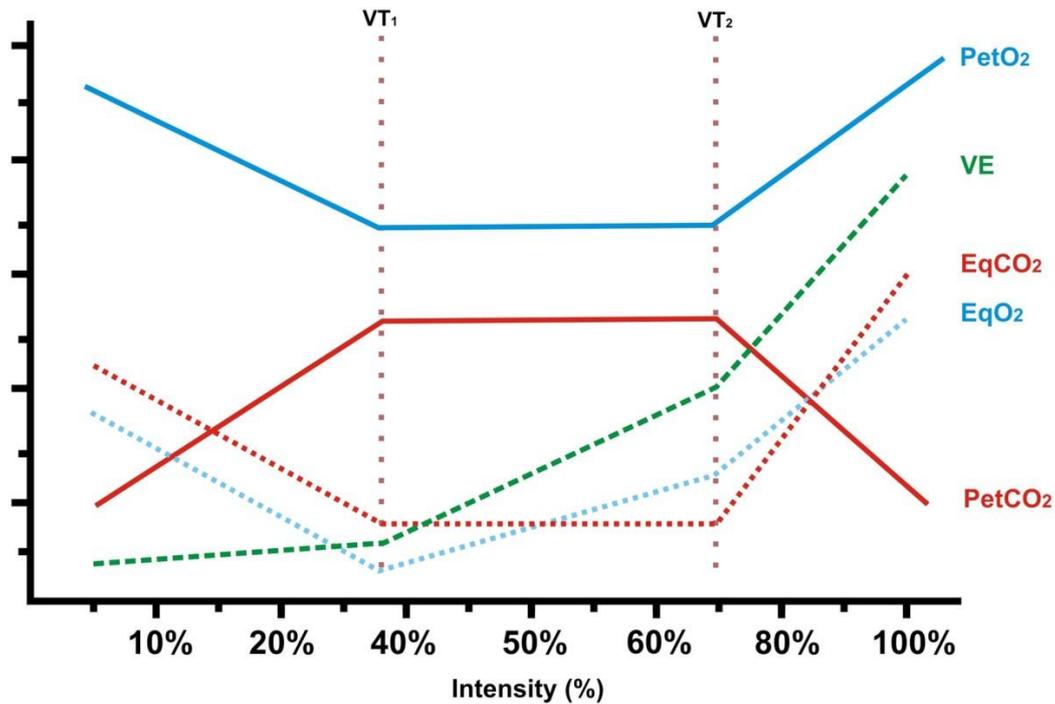


Figura 4. Modelo trifásico de zonas de entrenamiento descrito por Skinner y McLellan (1980) adaptado por Peinado et al (11). VE= ventilación; $PetO_2$ = presión de O_2 al final de la espiración; $PetCO_2$ = presión de CO_2 al final de la espiración; $EqCO_2$ = equivalente del cociente VE/VCO_2 ; EqO_2 = equivalente del cociente VE/VO_2 .

También existen dispositivos de medición de la frecuencia cardíaca integrados en cinturones que se atan al tórax, pero pueden provocar problemas en la piel e incomodidad a los corredores debido a la larga duración de este tipo de carreras, por lo cual se decidió la medición de la frecuencia cardíaca de los corredores durante la carrera mediante pulsómetro de muñeca (12). Los datos obtenidos del pulsómetro se correlacionaron con los obtenidos en la prueba de esfuerzo.

4.2.2. ACCELERÓMETRO

Por otro lado, también durante la ultra trail se han usado dispositivos de medición portátiles para obtener patrones de estimación del consumo energético, concretamente un acelerómetro en la muñeca. En particular, la acelerometría triaxial es una herramienta que permite la evaluación de una actividad física, en términos de duración, frecuencia e intensidad, realizada por un individuo en condiciones reales (13). Los datos de salida del acelerómetro nos permiten analizar la distribución del esfuerzo físico que siguen los corredores durante el recorrido de la ultra-trail, ya que permite clasificar cada minuto de la

actividad según si se ha alcanzado un nivel de esfuerzo vigoroso, moderado, ligero o sedentario (12). Esto permite tener registrado el tiempo en activo del corredor para así, con la distancia recorrida, poder calcular la velocidad del corredor en cada tramo.

4.2.3. MARCADORES DE DAÑO MUSCULAR

Muchos estudios demuestran que incluso una carrera relativamente corta puede conducir a cambios considerables en biomarcadores asociados al daño fisiológico del organismo, por lo tanto resulta muy importante estudiar estos cambios fisiopatológicos en ultramaratonés y carreras ultratrail, donde el daño producido podría ser mucho mayor. El cuerpo responde al estrés generado por un ultramaratón con una respuesta de fase aguda, es decir, los cambios en los niveles de los biomarcadores asociados al daño fisiológico suelen ser temporales y se suelen normalizar tras un período de reposo después de la carrera, sin provocar daños perjudiciales en el organismo a largo plazo (14).

Uno de los principales daños causados por este tipo de carreras de larga distancia es el daño muscular. El daño muscular se define como el deterioro del músculo esquelético causado por ejercicio exhaustivo o inusual, especialmente involucrando las contracciones excéntricas y/o continuas. Si el daño muscular es extenso, puede conducir a una disminución de la masa muscular, como varios estudios demuestran tras una ultramaratón (14). La evidencia científica asegura que este grado de daño muscular se podría reducir significativamente mediante el entrenamiento apropiado con altos volúmenes de entrenamiento y una larga experiencia en carreras (15).

Es importante estudiar el daño muscular para poder adoptar estrategias de entrenamiento más efectivas con el fin de mejorar el rendimiento deportivo en este tipo de eventos.

Para documentar el daño muscular debido a una prueba deportiva extrema se estudia sobre todo la enzima creatina quinasa (CK). Las cargas excéntricas, como las que soportan los corredores en una ultramaratón de montaña, pueden conducir a un aumento significativo de los niveles de CK y, por consiguiente, a un dolor muscular pronunciado (14,15). El pico más alto de CK se mide alrededor de 1 hora después de la realización de un ultramaratón, pero aún puede llegar a ser más alto entre 36 y 72 h después de la carrera (16). El aumento de la CK después de un ultramaratón parece aumentar con el incremento de la distancia recorrida (14). El aumento de la CK también parece depender del nivel de condición física del corredor. Gran parte de los ultramaratonistas tienen esta enzima más baja antes de la carrera que corredores más lentos, y después la tienen más baja que los que acabaron la carrera más tarde. Un estudio revela también que algunos ultracorredores con CK superior a 500 mU / ml antes de la

salida se sentían más cansados y acabaron abandonando (14). También hay estudios que confirman que el aumento de CK después del ejercicio de larga duración está más estrechamente relacionado con la duración del ejercicio que la intensidad (17).

Un factor limitante de la CK como marcador de daño muscular es que también puede indicar daño cardíaco y solo se puede determinar la diferencia entre ambos tipos de daño analizando sus isoformas. Además, existe variabilidad individual en la respuesta de la CK al daño por ejercicio y existen otros factores patológicos que pueden incrementar los niveles de esta enzima (18).

Otra enzima que aporta información sobre el daño muscular es la lactato deshidrogenasa (LDH). Esta enzima aumenta tras el ejercicio físico extenuante, concretamente después de una carrera suele alcanzar su pico máximo 1 hora después. También se ha relacionado esta enzima con el daño miocárdico pero en este caso aumenta justo después que la CK y alcanza su máximo a las 30-48 horas, lo cual nos permite ser más específicos a la hora de diferenciar el daño muscular del miocárdico al combinarla con la CK (19).

La CK y la LDH están entre los biomarcadores más importantes en la investigación del daño muscular asociado al ejercicio. El incremento de CK y LDH puede asociar síntomas como el dolor, fatiga y una disminución en la fuerza muscular durante el ejercicio de alta intensidad y larga distancia debido a los músculos esqueléticos dañados (20).

En cuanto al estudio del daño muscular en ultramaratones de montaña, algunos estudios sugieren que en pruebas de distancias extremadamente largas (alrededor 330 km) se da menos daño muscular e inflamación que en otras más cortas (110-166 km). Esto podría explicarse porque los corredores adoptan una estrategia de corrida más conservadora según la distancia para evitar el abandono temprano y preservar la integridad muscular. Sin embargo, al comparar carreras de montaña de 50 km y 100 km, parece que las carreras más largas inducen una mayor respuesta inflamatoria y de daño muscular (20). Un mayor incremento de CK y LDH durante una ultramaratón de larga distancia que en una maratón puede ser causada por la acumulación de fatiga debido al agotamiento de la energía y cambios en el metabolismo energético (21).

En deportistas los niveles de CK están aumentados con respecto a la población sedentaria, oscilando aproximadamente los valores en 82-1083 U/L para hombres y 47-513 U/L para mujeres, según describen artículos de medicina del deporte (22). Sin embargo, estos valores en pruebas extremas como pueden ser los ultramaratones pueden alcanzar varias veces los valores máximos de referencia para deportistas. Los niveles de LDH post ejercicio pueden superar los 400 U/L.

4.2.4. MARCADORES DE DESHIDRATACIÓN

La deshidratación es un término que generalmente se refiere a una pérdida de líquido corporal asociada con un rendimiento deficiente, golpe de calor, calambres musculares y fallo renal agudo en atletas (23).

La medicina clínica define la deshidratación utilizando marcadores sanguíneos que confirman la hipertonicidad (concentración sérica de sodio ($[Na^+]$) > 145 mmol / L) y la deshidratación intracelular. Por otro lado, según la medicina del deporte, la deshidratación se define como una osmolaridad urinaria (UOsm) ≥ 700 mOsmol / kgH₂O o una densidad específica de la orina (USG) ≥ 1.020 (22). Varios estudios señalan que los corredores que se sienten fatigados no siempre tienen un desequilibrio de electrolitos. En la mayoría de los casos, los corredores que llegan a meta tienen un desequilibrio de electrolitos en sólo un 16% de los casos, en comparación con aproximadamente 19% para corredores sin deshidratación (24). Por ello, consideramos utilizar los índices de orina en vez de marcadores sanguíneos en este análisis.

Además, en una ultramaratón, todos los corredores experimentan deshidratación con una disminución de la masa corporal (14). El porcentaje de pérdida de peso, así como la concentración de la orina, constituyen indicadores del grado de deshidratación prácticos, sencillos, y fiables; pero ninguno de estos indicadores por sí solo da suficiente evidencia de deshidratación. Sin embargo, la combinación de ambos sí determina el estado de hidratación en un atleta, y por ello, se considera un indicador estándar de oro para la determinación del estado de hidratación (25).

4.3. CALAMBRES MUSCULARES

Existen principalmente dos teorías sobre su etiología: una es la deshidratación y depleción electrolítica y otra es la causa neuromuscular (26).

La teoría del desequilibrio de deshidratación y de electrolitos afirma que debido a que durante el ejercicio se pierde mucho líquido y electrolitos, lo que resulta en la sensibilización de terminales nerviosas que acaban provocando una contracción que conocemos como calambre muscular. Según esta teoría, el ejercicio en condiciones de calor y humedad exacerba la cantidad de líquidos y electrolitos perdidos, lo que facilita los calambres.

Por otro lado, la teoría neuromuscular (Figura 4) propone que la sobrecarga muscular y la fatiga neuromuscular provocan un desequilibrio entre los impulsos excitadores de los husos musculares y los impulsos inhibidores de los órganos tendinosos de Golgi. Esta situación se ve propiciada cuando el músculo se está contrayendo en una posición ya acortada (27).

Algunos autores afirman que existe evidencia más sólida que apoya la etiología neuromuscular con respecto a la de deshidratación (28), sin embargo también existen algunas evidencias de que reponer fluidos con electrolitos disminuye la probabilidad de presentar calambres (29,30).

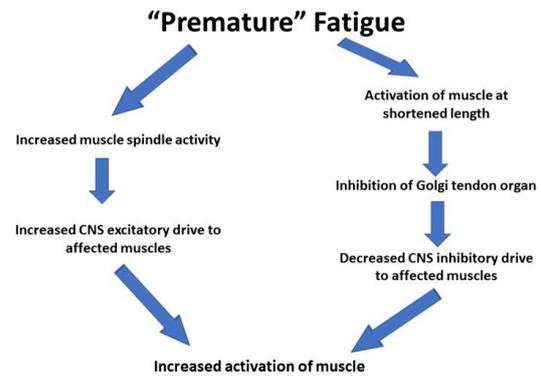


Figura 4. Esquema de la hipótesis neuromuscular de los calambres musculares propuesta por Schweltnus et al en 1997, adaptada por Maughan en 2019 (31)

5. JUSTIFICACIÓN

El número de finalistas de ultramaratones de 100km ha aumentado exponencialmente en todo el mundo en los últimos 14 años (32) y por ello cada vez resulta más interesante para la comunidad científica estudiar las consecuencias de estas carreras en la salud.

Sin embargo, la mayoría de los estudios han centrado sus análisis en una respuesta fisiológica específica y por lo tanto, se necesitan más estudios que integren datos bioquímicos, variables de fatiga y nivel de esfuerzo para mejorar la interpretación de los resultados. Tener una imagen más amplia de cómo los ultramaratones afectan a la fisiología y al rendimiento podría facilitar la comprensión del rendimiento de los atletas en la carrera y la recuperación posterior a la carrera (21).

6. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO PRIMARIO

Se pretende estudiar los factores de riesgo de calambres musculares, por un lado estudiando si existen factores predisponentes a sufrirlos y por otro lado estudiando si existe una relación significativa entre el sufrimiento de calambres, el daño muscular (incremento de CK y LDH) y la deshidratación (aumento de la densidad de la orina y pérdida del peso corporal) que acontecen en la carrera. Nuestra hipótesis es que los corredores que sufren calambres musculares presentan un mayor daño muscular y deshidratación que los que no tienen calambres y además pensamos que esto podría deberse a un esfuerzo relativo mayor durante la carrera.

6.2. OBJETIVO SECUNDARIO

También se quieren estudiar las diferencias ergométricas y antropométricas entre hombres y mujeres, así como comprobar si su nivel de esfuerzo relativo a lo largo de la carrera se distribuye de manera diferente según su sexo.

Además, queremos saber si hay diferencias significativas entre hombres y mujeres en cuanto a daño muscular y deshidratación postcarrera. Nuestra hipótesis es que las mujeres suelen llevar un ritmo más estable durante la carrera y por ello colapsan menos, es decir, tienen menos daño muscular y no llegan a abandonar la carrera por fatiga. También creemos que las diferencias en cuanto a masa muscular entre hombres y mujeres podrían intervenir en los resultados de las pruebas deportivas de larga distancia como la de este estudio.

7. MÉTODOS

7.1. PARTICIPANTES DEL ESTUDIO Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN

De todos los corredores inscritos en la Penyagolosa Trails CSP 2019 que querían participar en el estudio de forma voluntaria, se seleccionaron inicialmente 50 corredores, entre los cuales había 30 hombres y 20 mujeres. De estos corredores incluidos en el estudio, solo 29 hombres y 18 mujeres se presentaron en la línea de salida el día de la carrera, y de ellos, solo 19 hombres y 13 mujeres consiguieron llegar a la meta de la carrera. Por tanto, un total de 32 corredores amateurs que finalizaron la Penyagolosa Trails CSP 2019 han sido incluidos en este trabajo final de grado (33). Los participantes incluidos en el estudio tienen entre 31 y 53 años de edad.

Estos corredores solicitaron voluntariamente su participación en el estudio de investigación y dieron su consentimiento informado a la organización tras ser informados en detalle sobre el procedimiento del estudio que se quería realizar y las diferentes pruebas a las cuales iban a ser sometidos los corredores antes, durante el transcurso y después de la carrera. En todo caso los corredores y corredoras fueron informados en todo momento, pudiendo abandonar la investigación si lo considerasen oportuno (5).

Además de estar inscritos en la carrera y solicitar voluntariamente querer participar en la investigación, también se han establecido otros criterios de inclusión:

- 1) Demostrar haber finalizado más de una carrera con distancia superior a 60km.
- 2) No cumplir ninguno de los siguientes criterios de exclusión:
 - Ser menor de 18 años o mayor de 65 años.
 - Hospitalización durante el año previo.
 - Historial de patología cardiovascular o renal.
 - Diagnóstico de alguna neoplasia, enfermedad infecciosa o inflamatoria en el momento del estudio.
 - Cualquier evento hemorrágico o transfusión sanguínea durante los 4 meses anteriores.

- Recibir cualquier tipo de tratamiento farmacológico.

La organización seleccionó, por tanto, a los participantes del estudio en base a los criterios anteriormente citados, pero también buscando muestras representativas de sexo, es decir, se ha hecho un muestreo aleatorio simple estratificado.

7.2. CRITERIOS ÉTICOS DE INVESTIGACIÓN

Tras ser informados sobre el procedimiento del estudio, todos los participantes voluntarios han dado su consentimiento informado escrito. Esta investigación sigue los criterios de la declaración de Helsinki de estudios de biomedicina (World Medical Association, 2013) y fue aprobado por el Comité Deontológico de la Universitat Jaume I (código CD/007/2019 y NCT 03990259).

Se respeta la ley de protección de datos en todos los participantes. Este estudio forma parte de la base de datos del Clinical Trials, la mayor base de datos internacional donde se registran ensayos clínicos.

7.3. RECOGIDA DE DATOS

Los datos se han recogido en diferentes períodos. Durante un primer período del 18 de Febrero al 5 de Marzo de 2019, se les realizó una prueba de esfuerzo en la Unidad de Salud Deportiva del Hospital Vithas 9 de Octubre en Valencia y una ecocardiografía (5).

El día 12 de Abril de 2019 (24 horas antes de la carrera) se les realizaron las siguientes mediciones:

- Talla.
- Composición corporal mediante bioimpedancia.
- Espirometría completa.
- Extracción sanguínea.

Se les puso a todos los participantes un acelerómetro GENEactiv para llevarlo durante cuatro días ininterrumpidamente (12).

El día 13 de Abril, apenas 30 minutos antes de la carrera se realizaron las siguientes mediciones:

- Escala de Borg (percepción subjetiva del esfuerzo)
- Peso.

Las siguientes mediciones se hicieron durante la carrera, en los controles de Useres (33,7km), Culla (66 km), Vistabella (84,2 km) y meta (110,1km) se les midió también el peso, sensación subjetiva del esfuerzo y calambres.

Al llegar a la meta, en un espacio habilitado solo para los participantes del estudio, se les realizaron las siguientes mediciones en el menor tiempo posible:

- Composición corporal mediante bioimpedancia.
- Escala de percepción subjetiva del esfuerzo.
- Extracción sanguínea.
- Espirometría completa.
- Encuesta de hidratación (si tomaban geles, cuánta agua bebían, sales)
- Encuesta de daño y fatiga tardía.
- Ecocardiografía.
- Electrocardiografía.

7.4. ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE ESFUERZO.

Las pruebas de esfuerzo se realizaron en una cinta rodante entre 2 y 4 semanas antes de la carrera. Se pidió a los participantes que asistieran a la prueba en ayunas (>6 h). No se permitió el ejercicio vigoroso durante 48 h antes y no se permitió ningún entrenamiento durante las 24 horas anteriores. Todas estas medidas de estandarización se verificaron verbalmente con cada participante a su llegada.

Las pruebas se realizaron en una temperatura ambiente entre 20 y 22 ° C dentro del mismo período de tiempo (entre las 16:00h y las 18:00h). El VO_2 y VCO_2 pulmonares se midieron respiración por respiración utilizando un sistema en línea automatizado (sistema Oxycon Pro). El sistema de análisis de gas fue calibrado para ambiente temperatura y humedad, flujo de aire y concentraciones de VO_2 y VCO_2 antes de cada sesión de prueba de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Después de 4 minutos de calentamiento, se empezó con una velocidad de 8km/h que fue subiendo 1km/h cada 2 minutos.

El volumen máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) aceptado fue aquel alcanzado en una meseta (incremento de menos de 2 ml/kg/min) o en un descenso a pesar del aumento de cargas de trabajo y el cociente respiratorio ($RER = VCO_2/VO_2$) mayor de 1'15. Si este criterio no se cumplía, se tomaba un valor de $VO_{2m\acute{a}x}$ más alto posible medido en un período de 30 segundos (33).

7.5. ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOQUÍMICOS.

Las muestras de sangre se tomaron mediante venopunción de venas antecubitales utilizando tubos BD Vacutainer PST II. Posteriormente fueron transportadas a 4 °C hasta el laboratorio del Hospital Vithas Nisa Jaime I de Castellón. Todos los resultados bioquímicos sanguíneos post carrera fueron ajustados por medio del índice de Kargotich y teniendo en cuenta las modificaciones del volumen plasmático debidas a la deshidratación, de acuerdo con el método de Dill y Costill (2). Se realizaron análisis de marcadores bioquímicos de daño muscular y cardíaco en estas muestras de sangre, concretamente niveles de CK y LDH.

También se recogieron muestras de orina antes y después de la carrera para analizar el incremento de densidad de la orina y además se pesó a todos los corredores en salida y meta para obtener datos sobre su nivel de deshidratación.

7.6. TRATAMIENTO DE DATOS

Durante el desarrollo de la carrera, concretamente en los diferentes puntos de control del recorrido, se les preguntó a los corredores si habían sufrido o no calambres musculares. De esta forma, los corredores se han clasificado en dos grupos según si tuvieron calambres musculares (n=9) o si no tuvieron (n=23) a lo largo de la carrera, y así poder estudiar la relación entre la aparición de calambres musculares y los cambios en los parámetros bioquímicos estudiados.

Debido a que el objetivo de la investigación es ver las alteraciones fisiológicas causadas por realizar una ultra-trail, se ha calculado el cambio relativo de cada marcador bioquímico tras cruzar la línea de meta respecto al valor basal o de referencia de cada corredor (obtenido al analizar las muestras biológicas tomadas el día previo a la carrera). Los valores obtenidos tras haber realizado la carrera se normalizaron respecto al valor de referencia. Los valores de las variables estudiadas se expresaron como el porcentaje de incremento de cada valor respecto al basal. Así pues, para cada parámetro bioquímico analizado se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ INCREMENTO} = \frac{\text{Valor en meta} - \text{Valor de referencia}}{\text{Valor de referencia}} \times 100$$

Se procedió a usar esta misma fórmula para calcular también el porcentaje de cambio de peso de los corredores.

Después se calculó la velocidad media de cada corredor en carrera teniendo en cuenta únicamente el tiempo en movimiento, utilizando los datos del acelerómetro. Así pues, al

tiempo total que el corredor tarda en realizar todo el recorrido se le restó el tiempo en sedentario, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Tiempo total de carrera} - \text{Tiempo en sedentario}}{\text{Distancia recorrida}} = \text{Velocidad media}$$

Debido a que los niveles de daño muscular y deshidratación suelen estar influenciados por la intensidad a la que el corredor realiza la carrera, se estimó el nivel de esfuerzo relativo de cada corredor. Para ello, primero se obtuvo la velocidad correspondiente al umbral VT_1 de cada corredor gracias a la prueba de esfuerzo realizada antes de la carrera y después se calculó el porcentaje de velocidad media respecto a la velocidad en su umbral aeróbico para obtener el porcentaje de esfuerzo relativo:

$$\frac{(\text{Velocidad media de cada corredor} \times 100)}{\text{Velocidad al } VT_1} = \% \text{ velocidad respecto a velocidad en } VT_1$$

Se decidió utilizar el umbral VT_1 y no el VT_2 porque consideramos que este tipo de carrera de larga distancia y desnivel con tramos de inactividad tiene una intensidad más cercana al umbral aeróbico que anaeróbico. Sin embargo, como lo que hemos calculado es un porcentaje relativo a partir de ese umbral aeróbico (no en valor absoluto) habríamos obtenido resultados iguales si hubiésemos usado el umbral anaeróbico.

Se analizan las posibles causas de la aparición de calambres (variable dicotómica) realizando una regresión logística binaria. El modelo de regresión logística se presenta en esta ecuación:

$$y = \beta \cdot x_1 + \beta \cdot x_2 + \beta \cdot x_3 + \beta \cdot x_4 + \beta \cdot x_5 + \beta \cdot x_6 + \beta_0$$

La variable dependiente y es la variable resultado: tener calambres o no. β_0 es una constante mientras que x_1 se corresponde con ΔCK , x_2 con ΔLDH , x_3 con $\Delta \text{Densidad orina}$, x_4 con ΔPeso , x_5 con $\% \text{Velocidad } VT_1$ y x_6 con la variable *Sexo*. β es la pendiente de la recta de la ecuación. Se ha seleccionado el método “intro” en el programa SPSS y se han ido introduciendo las variables una por una junto con el porcentaje de velocidad con respecto a VT_1 , que hemos usado para corregir cada odds ratio obtenida.

7.7. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables que han sido seleccionadas para elaborar este estudio de investigación son:

1. Variables independientes categóricas

Calambres: Sí/No

Sexo: Hombre/Mujer

2. Variables dependientes cuantitativas

Parámetros antropométricos:

- Altura (metros)
- Peso (kg)
- BMI o IMC (kg/m^2)
- Edad (años)

Parámetros bioquímicos:

- CK basal
- LDH basal
- Porcentaje del incremento de LDH
- Porcentaje del incremento de CK

Parámetros de deshidratación:

- Densidad de orina basal
- Porcentaje del incremento de densidad de orina
- Porcentaje de la pérdida de peso

Parámetros ergométricos:

- Volumen máximo de oxígeno o $\text{VO}_2\text{máx}$ ($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$)
- Velocidad máxima (km/h)
- Velocidad máxima en el umbral VT_1 (km/h)
- Porcentaje de velocidad respecto a la velocidad del VT_1 : es el rendimiento o esfuerzo relativo de cada corredor

7.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron los análisis estadísticos utilizando el programa informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 25, mientras que las gráficas utilizadas para representar los datos fueron realizadas utilizando el programa informático Excel. Se consideró un resultado como significativo cuando el p-valor bilateral obtenido de los análisis estadísticos era menor de 0,05. Como la población a estudio tiene un tamaño inferior a 40 sujetos, se comprobó la normalidad de la distribución de las variables mediante la prueba Shapiro-Wilk

(Anexo 1). Los resultados de este análisis mostraron que algunas de las variables estudiadas no seguían una distribución normal (p -valor $<0,05$). Por este motivo se emplearon pruebas no paramétricas para realizar los análisis estadísticos.

Para comparar la distribución de variables categóricas entre grupos se empleó la prueba exacta de Fisher mientras que para comparar la distribución de variables cuantitativas entre dos grupos se utilizó la prueba de Mann-Whitney. Con el fin de comparar más de dos muestras relacionadas se empleó la prueba de Friedman y para compara pares de muestras relacionadas se realizó la prueba de Wilcoxon.

8. RESULTADOS

8.1. ANÁLISIS DE LOS POSIBLES FACTORES DE RIESGO DE CALAMBRES MUSCULARES

Tras la recogida de datos de los 32 participantes en el estudio, se han abordado los distintos objetivos de esta investigación.

El primer objetivo de este estudio es hallar factores de riesgo de sufrir calambres durante la práctica deportiva. Antes de analizar los resultados de la carrera, se lleva a cabo un análisis descriptivo de diferentes variables intrínsecas del individuo para descartar que influyan en la aparición de calambres y, por tanto, descartar que sean variables que predispongan a la aparición de calambres musculares.

Tras realizar la comparación entre corredores que sufren (9) y que no sufren (23) calambres durante la carrera, se observa que los corredores que sufren calambres tienen una mayor edad (p -valor=0,022). El resto de las variables estudiadas no presentan diferencias significativas entre ambos grupos de corredores (Tablas 2 y 3).

	Todos (n=32)	Calambres Sí (n=9)	Calambres NO (n=23)	P-valor
Altura (m)	1,7	1,79	1,69	0,051
Peso (kg)	68	70,4	65,6	0,157
BMI (kg/m ²)	22,93	23,23	22,63	0,773
Edad (años)	41	44	39	0,022
VO ₂ máx (ml/kg/min)	56,145	57,19	55,49	0,201
Vmáx (km/h)	15,685	17,21	15,62	0,194
VT ₁ máx (km/h)	10,71	10,78	10,4	0,321
CK basal (U/L)	141,5	182	126	0,137
LDH basal (U/L)	188	210	183	0,266
Densidad basal	1,015	1,015	1,015	0,103

Tabla 2. Medianas de las variables antropométricas, ergométricas y bioquímicas previas a la carrera y p -valor obtenido mediante la prueba Mann-Whitney. En amarillo se destaca el resultado estadísticamente significativo.

SEXO	Calambres Sí (n=9)	Calambres NO (n=23)	P-valor
Hombre	7	12	0,249
Mujer	2	11	

Tabla 3. Tabla de frecuencias de calambres musculares en hombres y mujeres. Se muestra el p-valor obtenido mediante la prueba exacta de Fisher.

Parece ser que los calambres no se distribuyen igual según la edad de los corredores y la mayoría de los que sufren calambres tienen más de 40 años. Asimismo, ninguno de los participantes menores de 35 años presentó calambres durante la carrera (Figura 5).

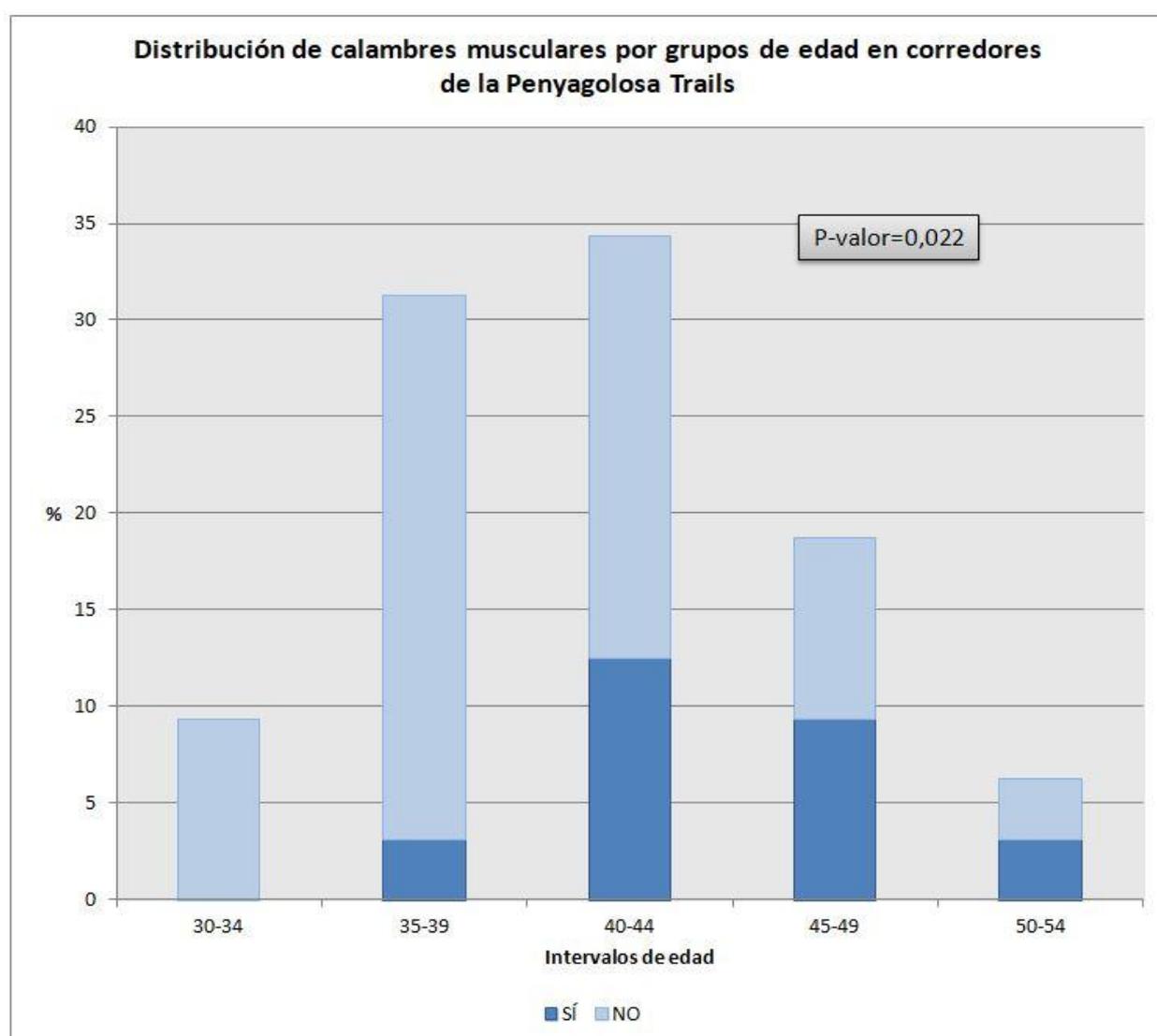


Figura 5. Representación gráfica del porcentaje de aparición de calambres musculares (color azul oscuro) por intervalos de edad de los participantes en el estudio.

Una vez se han analizado los posibles factores predisponentes a tener calambres, se llevó a cabo un análisis de correlación entre la aparición de calambres y los diferentes parámetros fisiológicos analizados durante y después de la carrera. Concretamente, los indicadores analizados estaban relacionados con el grado de daño muscular (incremento relativo de LDH y CK), la deshidratación (incremento relativo de la densidad de la orina y pérdida de peso) así como también el nivel de esfuerzo o rendimiento relativo durante la carrera (porcentaje de la velocidad en el umbral VT_1).

Los resultados obtenidos mediante la prueba estadística Mann-Whitney indican que no existen diferencias en ninguno de los parámetros analizados entre los corredores que han sufrido calambres durante la carrera y los que no (Tabla 4).

Tabla comparativa de las variables cuantitativas entre grupos de muestras según calambres					
	Calambres SÍ (n=9)		Calambres NO (n=23)		p-valor
Δ CK	Mediana	2015,779	Mediana	2558,720	0,681
	Rango intercuartil	9423,309	Rango intercuartil	10692,264	
Δ LDH	Mediana	104,905	Mediana	84,049	0,483
	Rango intercuartil	171,754	Rango intercuartil	186,684	
Δ Densidad orina	Mediana	0,490	Mediana	0,493	0,229
	Rango intercuartil	2,453	Rango intercuartil	2,473	
%Velocidad VT_1	Mediana	49,360	Mediana	48,150	0,428
	Rango intercuartil	18,790	Rango intercuartil	29,950	
Δ Peso	Mediana	-2,062	Mediana	-1,739	0,711
	Rango intercuartil	5,587	Rango intercuartil	13,596	

Tabla 4. Comparación de medianas y rangos de los incrementos relativos tras finalizar la carrera. Se muestran los p-valores obtenidos de la prueba de contraste Mann-Whitney.

Debido a que el nivel de esfuerzo puede influir considerablemente en la aparición de calambres, ya que la fatiga muscular puede ser mayor o menor según la intensidad de la actividad realizada, se realiza una regresión logística binaria incluyendo todas las variables que pueden influir en su resultado.

El análisis de regresión binaria para comprobar si alguna de las variables estudiadas influye de manera significativa en la aparición de calambres musculares muestra que ninguna variable incluida en el modelo parece influir de manera significativa, ya que el p-valor obtenido no es significativo (Figura 6).

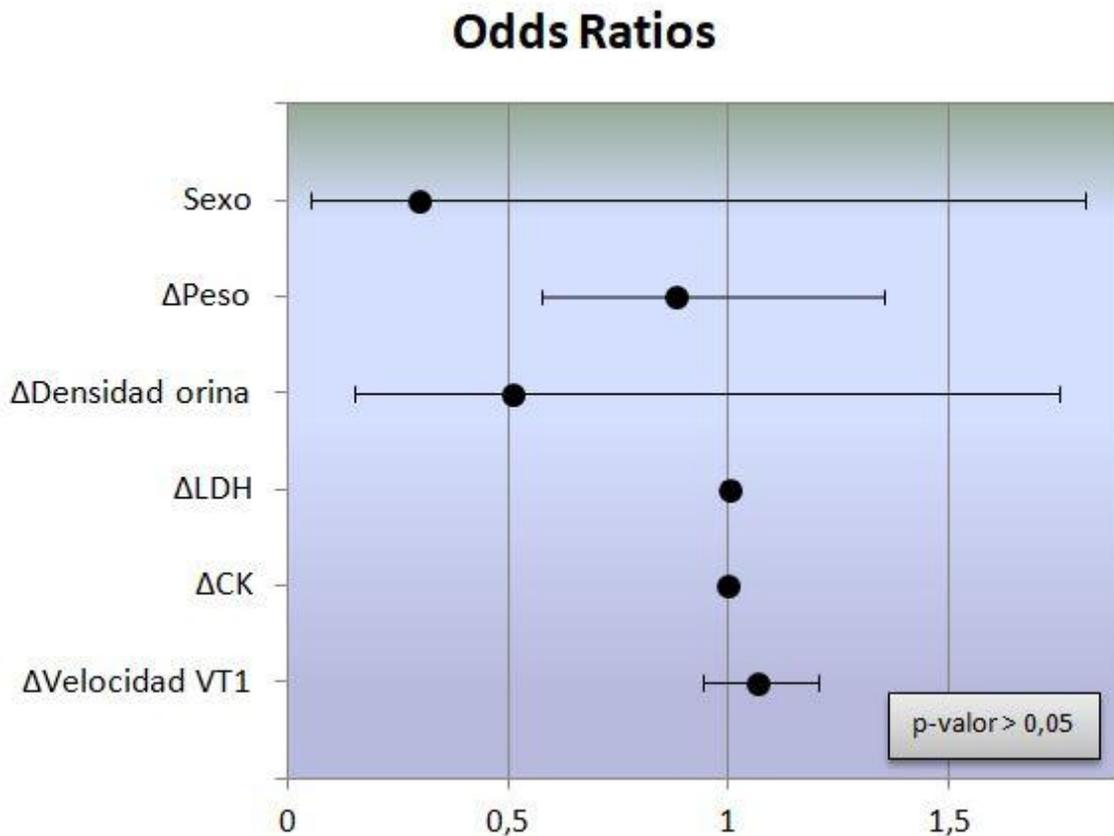


Figura 6. Representación gráfica de las odds ratio obtenidas con barras de error.

Como el recorrido de la Penyagolosa Trails CSP es cambiante, se estudió si la aparición de los calambres se debía a diferencias en el esfuerzo relativo realizado en uno de los tramos principales de la carrera (Castellón-Useres, Useres-Culla, Culla-Vistabella y Vistabella-Sant Joan). Para ello, se han calculado los porcentajes de velocidad relativa al VT_1 de cada corredor en cada uno de los tramos de carrera. Aunque no hay ninguna diferencia en cuanto al esfuerzo realizado por corredores que presentaban calambres y los que no en ningún tramo (p-

valor>0,05), es cierto que los corredores con calambres realizan toda la carrera a una intensidad de trabajo más elevada (Figura 7).

Rendimiento medio por tramo según la aparición de calambres en los corredores

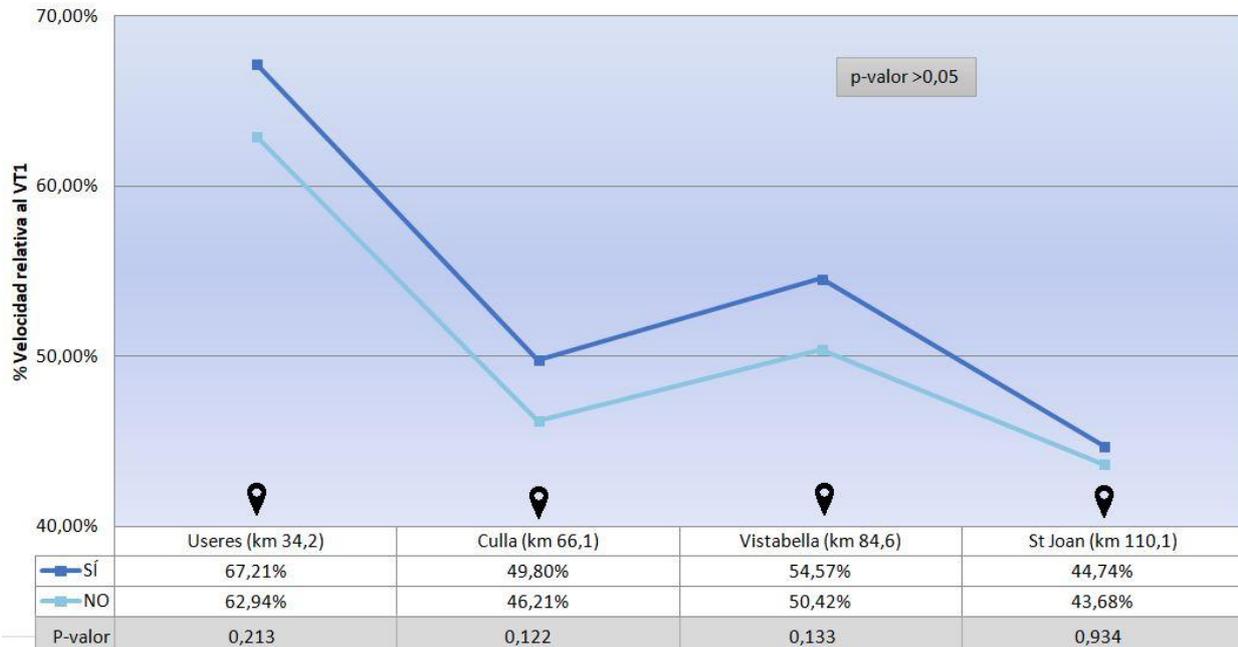


Figura 7. Cambio de esfuerzo relativo por tramos de corredores con y sin calambres.

8.2. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE HOMBRES Y MUJERES SEGÚN VARIOS PARÁMETROS

Debido al incremento de la participación de mujeres en las ultra-trail en los últimos años, tenemos también como objetivo estudiar las diferencias por sexos en los parámetros analizados. Tras comparar parámetros fisiológicos basales, los resultados muestran diferencias significativas en cuanto a la altura, el peso, el BMI, así como en la velocidad máxima y la velocidad en el umbral VT1 alcanzadas en la prueba de esfuerzo (p-valor<0,05) (Tabla 5). Este resultado muestra que existen diferencias antropométricas y ergométricas entre sexos que posiblemente podrían interferir en su posterior rendimiento en la prueba deportiva.

	Hombres (n=19)	Mujeres (n=13)	P-valor
Altura (m)	1,75	1,61	0
Peso (kg)	70,9	58,3	0
BMI (kg/m ²)	23,66	21,84	0,011
Edad (años)	40	43	0,254
VO ₂ máx (ml/kg/min)	56,24	55,49	0,103
Vmáx (km/h)	17,08	15,06	0
VT ₁ máx (km/h)	11,23	10,15	0,007
CK pre (U/L)	172	126	0,084
LDH pre (U/L)	194	184	0,623
Densidad pre	1,015	1,01	0,083

Tabla 5. Medianas de las variables antropométricas, ergométricas y bioquímicas en hombres y mujeres. En amarillo se destacan los resultados estadísticamente significativos.

Una vez se han comparado los datos basales de los corredores (aquellos recogidos antes de realizar la carrera) se llevó a cabo un análisis de los datos que indican los cambios fisiológicos causados por la realización de la carrera (recogidos durante y después la carrera). De todos los parámetros analizados, sólo se observan diferencias significativas en la pérdida relativa de peso corporal entre hombres y mujeres (p-valor=0,001) (Tabla 6).

Tabla comparativa de las variables cuantitativas entre grupos de muestras según el sexo					
	Sexo MUJER(n=13)		Sexo HOMBRE (n=19)		p-valor
ΔCK	Mediana	2616,810	Mediana	1899,699	0,099
	Rango intercuartil	9739,523	Rango intercuartil	9432,520	
ΔLDH	Mediana	82,241	Mediana	86,485	0,821
	Rango intercuartil	173,172	Rango intercuartil	171,754	
ΔDensidad orina	Mediana	0,493	Mediana	0,490	0,108
	Rango intercuartil	2,473	Rango intercuartil	2,461	
%Velocidad VT ₁	Mediana	49,360	Mediana	47,250	0,679
	Rango intercuartil	15,110	Rango intercuartil	29,950	
ΔPeso	Mediana	0,000	Mediana	-2,533	0,001
	Rango intercuartil	5,270	Rango intercuartil	10,253	

Tabla 6. Medianas y rangos de las variables cuantitativas analizadas después de la carrera.

Estas diferencias en la pérdida de peso, junto con la idea de que las mujeres suelen ser más constantes en su distribución del esfuerzo durante la carrera de larga distancia, nos hicieron plantearnos el analizar el rendimiento de carrera de hombres y mujeres en los cuatro tramos clave de la Penyagolosa Trails CSP. Los resultados indican que la velocidad relativa al VT_1 de hombres y mujeres es similar en todos los tramos (p -valor $> 0,05$) (Figura 8).

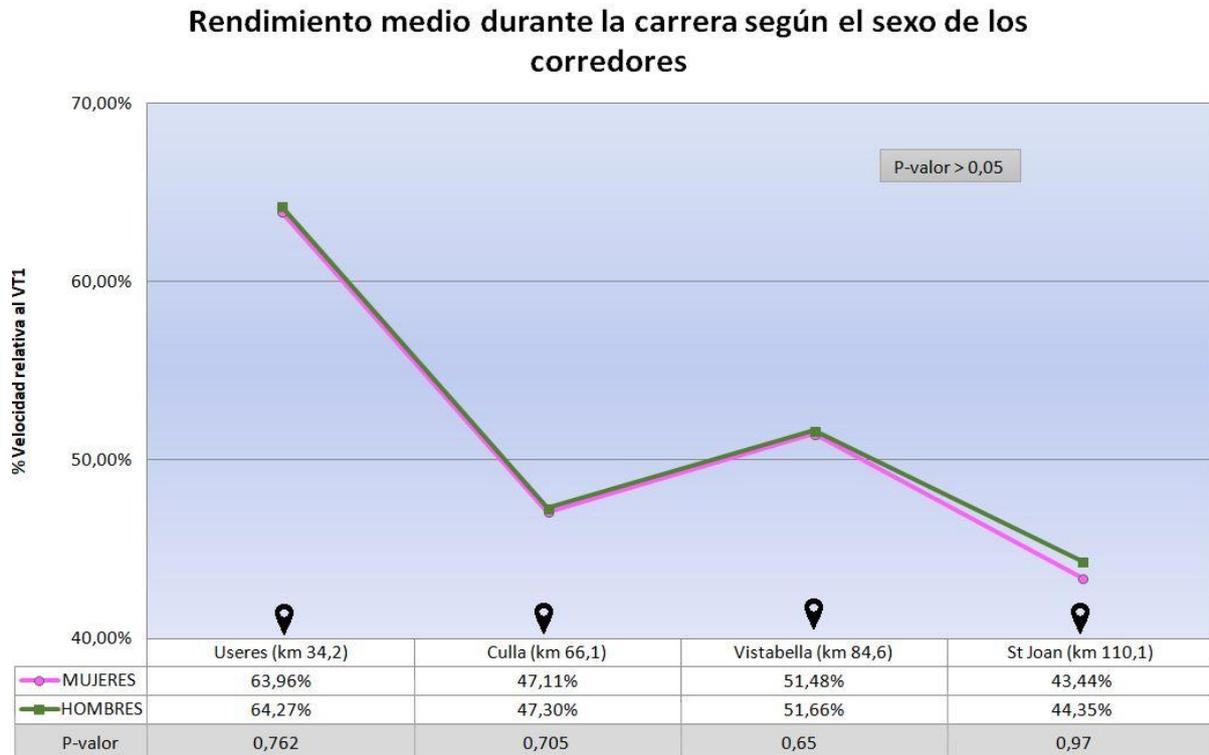


Figura 8. Representación gráfica del cambio de esfuerzo relativo por tramos de la carrera según el sexo. El esfuerzo relativo se representa como el porcentaje medio de velocidad relativa al umbral VT_1 .

Por último, se ha realizado la prueba de Friedman para comparar las distintas velocidades relativas de cada uno de los 4 tramos de la carrera entre sí en hombres y mujeres. De esta forma, se analiza la estabilidad del ritmo de carrera mediante el análisis de la existencia o no de cambios significativos de velocidad durante el recorrido. Tanto hombres como mujeres reducen su velocidad significativamente durante el recorrido (ya que obtenemos un p -valor = 0,000 en ambos grupos), tal y como se intuye en la figura anterior. Para confirmar si hay algún tramo que no sea diferente con respecto al anterior también se ha realizado la prueba de Wilcoxon comparando pares de tramos y se ha confirmado que todos los corredores, independientemente de su sexo, cambian significativamente su velocidad relativa en cada tramo con respecto al anterior (Tabla 7).

		Resultados de la prueba de Wilcoxon	
			P-valor
Useres vs Culla	Hombres		0,000
	Mujeres		0,001
Culla vs Vistabella	Hombres		0,000
	Mujeres		0,006
Vistabella vs Sant Joan	Hombres		0,001
	Mujeres		0,001

Tabla 7. Prueba de contraste para comparar las velocidades relativas en los 4 tramos principales de la carrera.

9. DISCUSIÓN

En esta investigación se tiene como objetivo general estudiar varios marcadores de daño fisiológico y rendimiento deportivo en 32 corredores que finalizaron la carrera de ultra-trail Penyagolosa Trails CSP en 2019. En este trabajo final de grado se han estudiado los factores de riesgo asociados a la aparición de calambres musculares, así como las diferencias fisiológicas encontradas entre hombres y mujeres de nuestra población de estudio tanto a nivel basal como en relación a la respuesta generada tras completar esta carrera de 110km.

9.1. ¿CUÁLES SON LOS FACTORES DE RIESGO DE CALAMBRES MUSCULARES?

Los calambres musculares asociados al ejercicio se presentan comúnmente en hasta un 67% de deportistas de resistencia durante o después de sus entrenamientos (31). La evidencia disponible se centra en dos potenciales mecanismos sobre la aparición de calambres musculares: la deshidratación o depleción electrolítica y la causa neuromuscular (34). Es muy poco probable que un solo mecanismo pueda explicar los calambres musculares en todas las situaciones (31), por lo tanto, intentamos centrar la búsqueda de estudios sobre las carreras de ultra-trail en concreto, no solo las carreras de asfalto o carreras cortas.

En este estudio se ha observado que los corredores con calambres tienen una mayor edad con respecto a los que no sufren calambres musculares durante la carrera. Sin embargo, no encontramos diferencias significativas en cuanto a sexos, peso, IMC, y parámetros ergométricos (VO_2 máx, velocidad máxima y velocidad en el VT_1) según la presencia o ausencia de calambres. Tampoco hay diferencias en los niveles basales de CK, LDH y densidad de orina entre los corredores con y sin calambres.

Con respecto a los factores de riesgo que predisponen a sufrir calambres musculares, en algunos estudios recientes sobre carreras de ultra trail no encuentran diferencias significativas en cuanto a la edad de los corredores con calambres pero sí un mayor riesgo si existe historia

personal previa de calambres (35). Otro estudio, una cohorte prospectiva en una ultramaratón de 56 km de asfalto, concluye en que ni la edad ni el IMC de los corredores son factores de riesgo de calambres, pero sí la historia previa de calambres asociados al ejercicio (36). También este mismo estudio encuentra niveles basales de CK mayores en los corredores con calambres, en comparación con el resto de corredores, aunque con un p-valor en el límite de ser significativo. Según este estudio, los corredores con calambres podrían presentar un daño muscular previo a la carrera que los predisponga. Sin embargo, los resultados obtenidos en una ultramaratón de asfalto podrían no ser extrapolables a los obtenidos de una ultramaratón de montaña de más de 100km como es este caso.

Un estudio prospectivo de 2017 sí que describe como factores de riesgo de calambres musculares en maratones el incremento el tener una mayor edad y un mayor IMC (26). Como vemos, existe cierta controversia con respecto a los factores que predisponen a calambres. En este mismo estudio definen otros factores de riesgo de calambres como una alta intensidad de ejercicio, una distancia de más de 30 km y terreno montañoso.

Existe un estudio de cohortes prospectivo publicado en 2017 que analiza datos de más de cuarentamil corredores participantes en carreras con distancias entre 21 y 56 km donde se concluye que los hombres de más de 40 años y con un mayor IMC tienen más riesgo de padecer calambres musculares asociados a la carrera (37). En este mismo artículo también se indica que los calambres musculares suelen ser más severos en corredores con un IMC más bajo y en carreras de menos kilómetros. Así pues, la literatura no muestra unos resultados cohesionados y, por lo tanto, sigue habiendo controversia en cuanto a las causas de la aparición de calambres.

En esta investigación sobre la Penyagolosa Trails también obtenemos como resultado que los calambres musculares durante la carrera no tienen una relación estadísticamente significativa ni con los incrementos de las enzimas de daño muscular (LDH y CK) ni con los marcadores de deshidratación (densidad de orina y peso perdido) ni con su rendimiento relativo a lo largo de la carrera.

Estudios recientes, como el de Martínez-Navarro et al publicado en 2020, sí han demostrado diferencias significativas en cuanto al incremento postcarrera de las enzimas CK y LDH en corredores con calambres musculares tras realizar una maratón de asfalto (38). En este mismo estudio, no se observa una asociación significativa entre el grado de deshidratación y la aparición de calambres, pero sí se demuestra que los corredores con calambres llevan una velocidad relativamente más baja a lo largo de la carrera, especialmente en los últimos tramos. Esta última evidencia de que los corredores que sufren calambres en una maratón de asfalto

llevan una velocidad más alta en la primera mitad de la carrera también coincide con otros estudios en maratones (36). Sin embargo, al ser resultados en una carrera de asfalto y además significativamente más corta que la Penyagolosa Trails CSP los resultados no pueden ser exactamente extrapolables al trail running. De todas formas, nuestros resultados parecen indicar que los corredores con calambres corren a una intensidad ligeramente superior que los corredores que no tienen calambres durante la carrera.

9.2. ¿QUÉ DIFERENCIAS HAY EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO, EL DAÑO MUSCULAR Y LA DESHIDRATACIÓN SEGÚN EL SEXO DE LOS CORREDORES?

El realizar estudios teniendo en cuenta la perspectiva de género es vital en el ámbito de la investigación. La mayoría de los estudios realizados en corredores de ultra-trail se centran en estudiar el sexo masculino, o tienen un porcentaje de mujeres en la población de estudio significativamente menor que de hombres. Es cierto que todavía suele haber más participantes hombres en este tipo de carreras de ultra-resistencia, pero cada vez la participación de mujeres es mayor y su rendimiento deportivo se ha disparado en los últimos años. Así pues, en este trabajo de final de grado queríamos también realizar un estudio comparativo entre los hombres y mujeres participantes del estudio. Para que dicha comparación fuera óptima, se incluyó un número equiparable de participantes de ambos sexos (59% de hombres *versus* 41% mujeres).

En primer lugar, el análisis comparativo entre las variables basales indica que existen diferencias significativas en la altura, peso, IMC y velocidad máxima alcanzada en la prueba de esfuerzo entre hombres y mujeres. Sin embargo, no se observaron diferencias en el VO_2 máx según el sexo del corredor.

En cuanto al análisis comparativo entre sexos de los cambios fisiológicos tras realizar una ultra-trail, los resultados no indican diferencias significativas en el daño muscular (incremento de CK y LDH), así como en el incremento de la densidad de orina, sufrido por hombres y mujeres. Sin embargo, sí que se observan diferencias significativas en la pérdida de peso corporal tras finalizar la carrera según el sexo del corredor, donde los hombres pierden aproximadamente un 2,5% más de peso que las mujeres.

Estudios recientes publicados este mismo año de una maratón de asfalto encuentran diferencias significativas en cuanto a la pérdida de masa corporal durante la carrera por sexos, siendo los hombres los que pierden más ($-2,8 \pm 1.5\%$ hombres vs $-1,3 \pm 1.6\%$ mujeres, $p < 0.001$). Los resultados de dicho estudio parecen indicar que no existe una asociación entre la pérdida de peso y el rendimiento del corredor durante la carrera (39). Existe otro estudio realizado en

corredores participantes en una ultramaratón que sí que observó que hay una correlación negativa entre el incremento de peso a lo largo de la carrera y la velocidad de los corredores, pero compara valores de velocidad absoluta (40). Así pues, la pérdida de peso superior en los hombres podría ser debida a que su velocidad de carrera es mayor que la de las mujeres, aunque en términos relativos (porcentaje de velocidad relativa al VT_1) no hemos obtenido diferencias entre sexos.

Según nuestros resultados, podríamos especular que en una carrera de ultratrail no se cumplen los patrones que suelen cumplirse en carreras cortas de asfalto, es decir, la diferencia en cuanto a rendimiento entre hombres y mujeres se reduce en este tipo de carreras, ya que su larga distancia y las dificultades de su terreno propician que no se puedan llevar los ritmos de carrera de asfalto.

En 2019, Waldvogel et al concluyen en su estudio que las mujeres reducen la diferencia de rendimiento en carreras de ultramaratón con respecto a los hombres a medida que aumenta su edad (41). Por tanto, a más distancia de carrera podría haber menos diferencias por sexos y además, esta diferencia se reduce aún más a mayor edad de los corredores.

Una revisión publicada en 2021 concluye en que, según la literatura científica publicada hasta el momento, las mujeres de origen caucásico o europeo presentan numerosos fenotipos que les confieren ventajas en competiciones de ultradistancia como por ejemplo tener una mayor resistencia a la fatiga, una mayor eficiencia de sustratos, así como menores demandas energéticas, lo cual podría explicar que las mujeres pierden menos peso durante la carrera. Sin embargo, esta misma revisión afirma que otros factores podrían influir negativamente en el rendimiento de las mujeres en este tipo de carreras como una menor capacidad de VO_2 máx, mayor prevalencia de estrés gastrointestinal y ciertos efectos producidos por las hormonas sexuales (42).

Tanto hombres como mujeres enlentecen su velocidad a lo largo de la carrera seguramente debido a la fatiga neuromuscular acumulada, y que dicha reducción de la velocidad depende especialmente de las diferencias topográficas en cada tramo, sobre todo del desnivel positivo acumulado.

9.3. LIMITACIONES Y SEGSOS DEL ESTUDIO

Este estudio es muy novedoso con respecto a los precedentes ya que analiza diversos parámetros teniendo en cuenta la perspectiva de género en una carrera de ultra-trail. No obstante, esta investigación no está exenta de limitaciones:

- ✚ La muestra es relativamente pequeña. Es necesario ampliar el tamaño muestral, para obtener unos resultados más extrapolables. Sin embargo, es difícil obtener un mayor número de sujetos ya que la participación es mucho más baja en comparación con carreras de asfalto, y el porcentaje de abandonos es mucho más elevado.
- ✚ El cuestionario sobre el sufrimiento de calambres es subjetivo, depende de cada corredor, lo que para unos es un “amago de calambre” para otros sí que es.
- ✚ Las carreras ultra-trail, a diferencia de las convencionales, tienen avituallamientos donde los deportistas ingieren algún alimento y fluidos. La nutrición influye significativamente en el rendimiento de estas carreras, en los parámetros de deshidratación, fatiga muscular y, por ende, en la aparición de calambres (29,30).
- ✚ No se ha tenido en cuenta la topografía de la zona ni el desnivel de cada tramo. Esto podría influir en el rendimiento de los corredores de manera significativa.
- ✚ No se ha tenido en cuenta la temperatura a lo largo de la carrera, lo cual puede influir en los calambres musculares, según muestran otros estudios (31,43).
- ✚ No hemos tenido en cuenta el nivel deportivo previo de los participantes, cuánto entrenamiento en montaña y ejercicios de fuerza realizan.
- ✚ Existen factores genéticos que pueden influir de manera importante en el rendimiento durante la prueba. Así mismo, hay también estudios que concluyen en que el 47% del VO₂ máx se podría explicar por herencia familiar (44).

9.4. PERSPECTIVA DE FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En primer lugar, seguramente en los próximos años podrán realizarse estudios mejores mientras el número de participantes femeninas siga aumentando.

En segundo lugar, las investigaciones futuras podrían utilizar protocolos y test específicos ergométricos para estudiar el rendimiento deportivo de los corredores de trail que podrían ser más exactos que la prueba ergométrica convencional a la hora de predecir qué factores influyen en las ultra-trail. Las pruebas ergoespirométricas específicas para carreras de montaña aumentan no solo velocidad sino también la pendiente del rapiz rodante, aproximadamente un 1% cada minuto, lo cual se asemeja más a las condiciones reales de una ultra-trail. Hay estudios que demuestran que este tipo de pruebas obtienen un VO₂máx mayor que las convencionales y la duración de la prueba se reduce significativamente puesto que los corredores llegan antes a su máximo de fatiga física (45).

También se podrían ajustar estos análisis a la ingesta de alimentos y bebidas en los avituallamientos, de manera que se pueda ver su efecto real e interacción sobre el rendimiento durante la carrera.

9.5. IMPLICACIONES PRÁCTICAS DE LOS HALLAZGOS DE ESTE ESTUDIO

Las ultramaratonos de montaña son fenómenos multifactoriales donde interaccionan factores fisiológicos, neuromusculares, biomecánicos, genéticos y cognitivos. Es complicado poder esclarecer todos los factores que influyen en el rendimiento deportivo de este tipo de carreras pero, mientras sigan aumentando las investigaciones poco a poco se podrán esclarecer dichos factores.

Este estudio puede aportar varias ventajas a la comunidad científica dedicada a la investigación en las ciencias del deporte, así como a entrenadores y deportistas que busquen mejorar su rendimiento:

- El esclarecimiento de los factores de riesgo que predisponen a calambres musculares puede ayudar a identificar a aquellos corredores que necesiten seguir unas pautas de entrenamiento y/o alimentación que eviten o al menos minimicen su aparición.
- El estudio de las diferencias entre hombres y mujeres en cuanto a daño muscular, deshidratación, aparición de calambres, rendimiento y parámetros ergométricos puede aportar información muy valiosa a los entrenadores para preparar entrenamientos diferentes según el sexo del corredor.
- Las diferencias en cuanto al rendimiento entre hombres y mujeres son menos evidentes en carreras de ultra-trail que en los maratones convencionales, lo cual podría animar y motivar a más mujeres a entrenar este tipo de carreras de montaña.

10. CONCLUSIONES

En esta investigación hemos obtenido diversas conclusiones. En cuanto a los calambres musculares asociados al ejercicio:

- 1) Una edad mayor de 35 años podría ser un factor predisponente a sufrir calambres musculares en una ultra-trail.
- 2) No existen diferencias significativas en cuanto a las variables antropométricas, ergométricas y de biomarcadores analizados entre corredores con y sin calambres.

- 3) Los corredores que sufren calambres parece que realizan la carrera a una intensidad de esfuerzo superior a los corredores que no tienen calambres, sin embargo no hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas.

Con respecto a la perspectiva de género:

- 4) Podemos afirmar que los hombres pierden más peso a lo largo de una carrera de ultratrail, aproximadamente un 2,5% más que las mujeres.
- 5) No existen diferencias significativas en el rendimiento relativo de hombres y mujeres en este tipo de carrera.
- 6) Tampoco hay diferencias según el sexo en los incrementos de CK, LDH y densidad de orina postcarrera.
- 7) Tanto hombres como mujeres varían significativamente su rendimiento en cada tramo de la carrera por el creciente desnivel positivo y la fatiga acumulada.

11. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a mi tutora Bárbara Hernando la dedicación y paciencia que ha tenido con mi trabajo así como su apoyo constante a la hora de corregirme cada detalle y resolver todas mis dudas.

También agradezco a mi familia y mis amigos la confianza y el apoyo constante que han depositado en mí todos estos años de carrera que, sin duda, me han impulsado para llegar hasta aquí. Agradezco a mis padres el esfuerzo que han realizado porque yo pueda estudiar tantos años en otra ciudad para poder cumplir mi sueño.

12. REFERENCIAS

1. Hoffman, Martin D. «State of the Science-Ultraendurance Sports». *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11, n.º 6 (2016): 831-32. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0472>.
2. Collado Andrés, Claudia, Bárbara Hernando, Carlos Hernando, y Conrado Martínez Cadenas. «¿Qué repercusión a nivel fisiológico puede tener realizar una carrera de ultratrail? Análisis de la alteración de biomarcadores de daño cardíaco y muscular en corredores amateurs de ultratrail». *Àgora de salut VII* (2020): 57-66. <https://doi.org/10.6035/ÀgoraSalut.2020.7.6>.
3. «Discover trail-running - ITRA». Accedido 18 de noviembre de 2020. <https://itra.run/content/definition-trail>.

4. «Penyagolosa Trails | CSP». Accedido 18 de noviembre de 2020. <http://www.penyagolosatrails.com/>.
5. «Penyagolosa Trails | Proyecto Penyagolosa Trail Saludable Women». Accedido 18 de noviembre de 2020. <http://www.penyagolosatrails.com/proyecto-penyagolosa-trail-saludable-women/>.
6. Herdy AH, Ritt LEF, Stein R, de Araújo CGS, Milani M, Meneghelo RS, et al. Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arq Bras Cardiol* [Internet]. 2016 Nov [cited 2021 Apr 24];107(5):467–81. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5137392/>
7. (PDF) Aplicación práctica de las pruebas de esfuerzo [Internet]. [cited 2020 Nov 24]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/224070832_Aplicacion_practica_de_las_pruebas_de_esfuerzo
8. Löllgen, Herbert, y Dieter Leyk. «Exercise Testing in Sports Medicine». *Deutsches Ärzteblatt International* 115, n.º 24 (junio de 2018): 409-16. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>.
9. Cerezuela-Espejo V, Courel-Ibáñez J, Morán-Navarro R, Martínez-Cava A, Pallarés JG. The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Front Physiol* [Internet]. 2018 Sep 25 [cited 2021 Apr 23];9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6167480/>
10. López-Chicharro J. Fernández-Vaquero A; *Fisiología del ejercicio*; 3ª Edición; Madrid, Editorial Panamericana; 2006. Capítulo 25; p.417.
11. Peinado AB, Rojo JJ, Calderón FJ, Maffulli N. Responses to increasing exercise upon reaching the anaerobic threshold, and their control by the central nervous system. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* [Internet]. 2014 Apr 24 [cited 2021 Apr 24];6(1):17. Available from: <https://doi.org/10.1186/2052-1847-6-17>
12. Hernando C, Hernando C, Martinez-Navarro I, Collado-Boira E, Panizo N, Hernando B. Estimation of energy consumed by middle-aged recreational marathoners during a marathon using accelerometry-based devices. *Sci Rep* [Internet]. 2020 Jan 30 [cited 2020 Nov 30];10. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6992743/>
13. Hernando C, Hernando C, Martinez-Navarro I, Collado-Boira E, Panizo N, Hernando B. Using Accelerometry for Evaluating Energy Consumption and Running Intensity

- Distribution Throughout a Marathon According to Sex. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 26;17(17).
14. Knechtle, Beat, y Pantelis T. Nikolaidis. «Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running». *Frontiers in Physiology* 9 (1 de junio de 2018). <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00634>.
 15. Noakes, T. D., y J. W. Carter. «The Responses of Plasma Biochemical Parameters to a 56-Km Race in Novice and Experienced Ultra-Marathon Runners». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 49, n.º 2 (1982): 179-86. <https://doi.org/10.1007/BF02334066>
 16. Bird, Stephen R, Matthew Linden, y John A Hawley. «Acute changes to biomarkers as a consequence of prolonged strenuous running». *Annals of Clinical Biochemistry* 51, n.º 2 (1 de marzo de 2014): 137-50. <https://doi.org/10.1177/0004563213492147>
 17. Shin, Kyung-A, Ki Deok Park, Jaeki Ahn, Yongbum Park, y Young-Joo Kim. «Comparison of Changes in Biochemical Markers for Skeletal Muscles, Hepatic Metabolism, and Renal Function after Three Types of Long-distance Running». *Medicine* 95, n.º 20 (20 de mayo de 2016). <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003657>.
 18. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in Sports and Exercise: Tracking Health, Performance, and Recovery in Athletes. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2017 Oct [cited 2021 Apr 7];31(10):2920–37. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5640004/>
 19. Ohman, E. M., K. K. Teo, A. H. Johnson, P. B. Collins, D. G. Dowsett, J. T. Ennis, y J. H. Horgan. «Abnormal Cardiac Enzyme Responses after Strenuous Exercise: Alternative Diagnostic Aids». *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)* 285, n.º 6354 (27 de noviembre de 1982): 1523-26. <https://doi.org/10.1136/bmj.285.6354.1523>.
 20. Belli T., Vaz M.D., Gomes G., Masselli I.G., Menezes P.P., Lorenzi F., Soares L., Brenzikofer R., y Gobatto C.A.. «Mountain Ultramarathon Induces Early Increases of Muscle Damage, Inflammation, and Risk for Acute Renal Injury». *Frontiers in Physiology* 9 (2018): 1368. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01368>.
 21. Martínez-Navarro I, Sanchez-Gómez JM, Aparicio I, Priego-Quesada JI, Pérez-Soriano P, Collado E, et al. Effect of mountain ultramarathon distance competition on biochemical variables, respiratory and lower-limb fatigue. *PLoS One* [Internet]. 2020 Sep 11 [cited 2020 Nov 19];15(9). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7485829/>

22. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med* [Internet]. 2007 Oct [cited 2021 Apr 7];41(10):674–8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2465154/>
23. Hew-Butler TD, Eskin C, Bickham J, Rusnak M, VanderMeulen M. Dehydration is how you define it: comparison of 318 blood and urine athlete spot checks. *BMJ Open Sport Exerc Med* [Internet]. 2018 Feb 1 [cited 2021 Apr 7];4(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5812394/>
24. Holtzhausen, Lucy-May, Timothy David Noakes, Bettina Kroning, Marné De Klerk, Mimi Roberts, y Robin Emsley. «Clinical and Biochemical Characteristics of Collapsed Ultramarathon Runners». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 26, n.º 9 (septiembre de 1994): 1095–1101.
25. Cisneros AER, González JMS, Escalante J, Lambert OC. Utilidad de la densidad urinaria en la evaluación del rendimiento físico. *Rev Mex Patol Clin Med Lab* [Internet]. 2008 [cited 2020 Nov 25];55(4):239–53. Available from: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=19225>
26. Jun Q, Jie K. Exercise Associated Muscle Cramps - A Current Perspective. *Arch Sports Med* [Internet]. 2017 Mar 8 [cited 2021 Apr 9];1(1). Available from: <https://scholars.direct/Articles/sports-medicine/aspm-1-002.php?jid=sports-medicine>
27. Miller KC, Stone MS, Huxel KC, Edwards JE. Exercise-associated muscle cramps: causes, treatment, and prevention. *Sports Health*. 2010 Jul;2(4):279–83.
28. Jahic D, Begic E. Exercise-Associated Muscle Cramp-Doubts About the Cause. *Mater Sociomed* [Internet]. 2018 Mar [cited 2021 Apr 9];30(1):67–9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5857054/>
29. Effect of oral rehydration solution versus spring water intake during exercise in the heat on muscle cramp susceptibility of young men [Internet]. [cited 2021 Apr 5]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7962362/>
30. Lau WY, Kato H, Nosaka K. Water intake after dehydration makes muscles more susceptible to cramp but electrolytes reverse that effect. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2019;5(1):e000478.
31. Maughan RJ, Shirreffs SM. Muscle Cramping During Exercise: Causes, Solutions, and Questions Remaining. *Sports Med* [Internet]. 2019 Dec [cited 2021 Apr 24];49(S2):115–24. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s40279-019-01162-1>
32. Cejka, Nadine, Christoph Alexander Rüst, Romuald Lepers, Vincent Onywera, Thomas Rosemann, y Beat Knechtle. «Participation and Performance Trends in 100-Km Ultra-

- Marathons Worldwide». *Journal of Sports Sciences* 32, n.º 4 (25 de febrero de 2014): 354-66. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.825729>.
33. Martínez-Navarro I, Montoya-Vieco A, Collado E, Hernando B, Hernando C. Ultra Trail Performance is Differently Predicted by Endurance Variables in Men and Women. *Int J Sports Med*. 2020 Oct 5;
 34. Giuriato G, Pedrinolla A, Schena F, Venturelli M. Muscle cramps: A comparison of the two-leading hypothesis. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018 Aug;41:89–95
 35. Hoffman MD, Stuenkel KJ. Muscle Cramping During a 161-km Ultramarathon: Comparison of Characteristics of Those With and Without Cramping. *Sports Med Open* [Internet]. 2015 May 21 [cited 2021 Apr 9];1. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4532703/>
 36. Schwellnus MP, Allie S, Derman W, Collins M. Increased running speed and pre-race muscle damage as risk factors for exercise-associated muscle cramps in a 56 km ultra-marathon: a prospective cohort study. *Br J Sports Med* [Internet]. 2011 Nov 1 [cited 2021 Apr 9];45(14):1132–6. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/45/14/1132>
 37. Swanevelder S, Schwellnus M, Jordaan E. Novel Risk Factors Associated with More Severe Exercise Associated Muscle Cramping (eamc): A Prospective Cohort Study of 41 698 Distance Runners. *Br J Sports Med* [Internet]. 2017 Feb 1 [cited 2021 Apr 9];51(4):393–4. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/51/4/393.3>
 38. Martínez-Navarro I, Montoya-Vieco A, Collado E, Hernando B, Panizo N, Hernando C. Muscle Cramping in the Marathon: Dehydration and Electrolyte Depletion vs. Muscle Damage. *J Strength Cond Res*. 2020 Aug 12;
 39. Racinais S, Ihsan M, Taylor L, Cardinale M, Adami PE, Alonso JM, et al. Hydration and cooling in elite athletes: relationship with performance, body mass loss and body temperatures during the Doha 2019 IAAF World Athletics Championships. *Br J Sports Med*. 2021 Feb 12;
 40. Knechtle B, Knechtle P, Wirth A, Alexander Rüst C, Rosemann T. A faster running speed is associated with a greater body weight loss in 100-km ultra-marathoners. *J Sports Sci*. 2012;30(11):1131–40.
 41. Waldvogel KJ, Nikolaidis PT, Di Gangi S, Rosemann T, Knechtle B. Women Reduce the Performance Difference to Men with Increasing Age in Ultra-Marathon Running. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2019 Jul [cited 2021 Apr 9];16(13). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6651135/>

42. Tiller NB, Elliott-Sale KJ, Knechtle B, Wilson PB, Roberts JD, Millet GY. Do Sex Differences in Physiology Confer a Female Advantage in Ultra-Endurance Sport? *Sports Med.* 2021 Jan 27;
43. Parise, C., y M. Hoffman. «Influence of temperature and performance level on pacing a 161 km trail ultramarathon.» *International journal of sports physiology and performance*, 2011. <https://doi.org/10.1123/IJSP.6.2.243>.
44. O'Connell K, Posthumus M, Schweltnus MP, Collins M. Collagen genes and exercise-associated muscle cramping. *Clin J Sport Med.* 2013 Jan;23(1):64–9.
45. Scheer V, Ramme K, Reinsberger C, Heitkamp H-C. VO₂max Testing in Trail Runners: Is There a Specific Exercise Test Protocol? *International Journal of Sports Medicine.* 2018 Apr 17;39.

13. ANEXOS

ANEXO 1: Prueba de normalidad de las variables cuantitativas.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk	
	P-valor
Altura	0,100
Peso inicial	0,895
BMI	0,774
Edad	0,594
VO ₂ máx	0,151
Vmáx	0,497
VT1máx	0,500
CK pre	0,000
LDH pre	0,809
Densidad pre	0,004
ΔCK	0,000
ΔLDH	0,023
ΔDensidad orina	0,005
% Velocidad VT ₁	0,105
ΔPeso	0,863

Se destacan en amarillo los p-valores menores de 0,05 que indican que hay variables que no se distribuyen de manera normal. BMI: índice de masa corporal; VO₂máx: Volumen máximo de oxígeno; Vmáx: velocidad máxima; VT₁máx: velocidad máxima en el umbral aeróbico; CK pre: creatin kinasa previa a la carrera; LDH pre: Lactato deshidrogenasa previa; Densidad pre: densidad de orina previa; Δ= incremento.