



**ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA  
INTERMITENTE Y PLAN DIETÉTICO-  
NUTRICIONAL PARA MONTAÑEROS.  
PREVENCIÓN MAM**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER:  
INFORME CIENTÍFICO**

**MÁSTER DE RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD**

**TUTOR ACADÉMICO: ENRIQUE ROCHE COLLADO**

**ALUMNO: ANTONIO JOSÉ MOLINA CAMPILLO DNI:**

# ÍNDICE

• 1. Resumen.....	2
• 2. Introducción.....	2
• 3. Material y método.....	7
• 3.1 Muestra.....	7
• 3.2 Procedimiento.....	7
• 3.2.1 Entrenamiento.....	8
• 3.2.2 Intervención dietético-nutricional.....	8
• 3.2.3 Analítica sanguínea .....	10
• 3.2.4 Valoración de la incidencia del Mal Agudo de Montaña..	11
• 4. Resultados y discusión.....	11
• 5. Conclusiones.....	11
• 6. Anexos.....	11
• 7. Referencias.....	13

## 1. RESUMEN

El montañismo es un deporte que ha conseguido un gran arraigo social en los últimos siglos, sin embargo, no hay suficientes evidencias científicas que indiquen cómo evitar ciertas patologías, como el mal agudo de montaña (MAM).

Según la tesis doctoral de Urdampilleta, que estableció un modelo de entrenamiento basado en mejoras adaptativas del organismo a la altura, combinando entrenamientos en hipoxia intermitente con ejercicios a altitudes medias (2000-3000 m), este modelo establece, además, unas pautas nutricionales para los alpinistas que, combinado al entrenamiento, parecen ayudar a evitar el MAM. Sin embargo, en este trabajo, se pretende conocer cómo de beneficioso es el seguimiento dietético en dicho plan de entrenamiento, para mejorar la adaptación a la altitud, midiendo la aparición de síntomas del MAM, es por ello que se estudia a un grupo de sujetos (n=5), que realiza el mismo plan de entrenamiento en hipoxia intermitente, a los que se les dio unas pautas nutricionales generales, pero si llevar un seguimiento de su dieta. Los resultados se compararon con los recogidos por el propio Urdampilleta en otra población de alpinistas a los que se les hacía un seguimiento estricto de la dieta. Se puede concluir que, no seguir la dieta de forma adecuada durante el entrenamiento en hipoxia intermitente, podría aumentar la sintomatología del MAM entre un 20-25%.

Palabras clave: hypoxia, training hypoxia, acute mountain sickness, mountain nutrition.

## 2. INTRODUCCIÓN

El hombre ha tenido relación con la montaña desde el comienzo de la humanidad. Sin ir más lejos, si se hace referencia a los conflictos bélicos, muchos de ellos se han librado en la montaña, o ésta ha sido zona de paso para los ejércitos. Baste recordar la travesía de los Alpes por parte de Aníbal para atacar a los ejércitos romanos en Italia (siglo II a.d.C.). De forma paralela, las montañas se convierten en barreras para la cultura, la religión, la ciencia o la economía. Existe por ello, la necesidad de atravesarlas por parte de escritores, peregrinos, científicos y comerciantes. Esto motiva la construcción de centros o monasterios, en los que se estudia, entre otras cosas, medicina para asistir los accidentes sufridos en las montañas, las congelaciones y el mal de altura (fedc, *montaña*, s.f.).

No se sabe con exactitud cuándo comienza la historia del montañismo, aunque se suele situar en 1336 con la ascensión de Francesco Petrarca al Mont Ventoux (1912 m) en los Alpes, de ahí surge la palabra alpinismo. A pesar de ello, por la disparidad de ascensiones por diferentes personas en diversas fechas, hay gente que no cree que esa fuese la fecha de comienzo para el alpinismo, aunque sí es verdad que fue la primera ascensión bien documentada. En 1786 Jacques Balmat junto al doctor Paccard alcanzaron la cumbre del Mont Blanc (4810 m). El incitador de dicha ascensión fue Horace Benedetto, considerado el Homero del Alpinismo, consiguiendo así fomentar la práctica del montañismo en Europa. Tras esta ascensión, los Alpes se convirtieron en un lugar de gran interés turístico, iniciándose una nueva moda por la ascensión a las cumbres.

De forma sucesiva, muchos montañeros se iniciaban en la búsqueda de nuevos desafíos: nuevas montañas, montañas más altas, vías de máxima dificultad, etc. En un principio, nace la figura del viajero explorador con una visión romántica de los desafíos de la naturaleza, pero con el paso del tiempo se ha desarrollado la figura actual del alpinista deportista que busca retos extremos donde pone al límite sus facultades físicas y psicológicas. De esta forma el montañismo actual necesita fuertes inversiones, ya que está mucho más mediatizado, requiriendo por parte de los alpinistas un altísimo dominio técnico y una excelente forma física. No obstante, su popularización ha traído un alarmante incremento de los accidentes mortales en las zonas montañosas. Además, la actividad física se ha diversificado, combinando la marcha a pie, con el esquí, la escalada en roca y en hielo, y el salto base en todas sus modalidades.

Así, el uso de la escalada en lugar de la marcha a pie como modalidad de ascensión a las cumbres, se inició con la ascensión de Edwar Whymper al Cervino o Matterhorn (4478 m) en 1865. A pesar de los precarios materiales utilizados (clavijas de hierro y cuerdas de cáñamo) alcanzaron con éxito la cumbre de esta montaña alpina. Desgraciadamente, durante el descenso, una de las cuerdas se rompió y 4 montañeros de la expedición perdieron la vida. Los materiales de escalada evolucionaron utilizándose los anclajes de aluminio, mucho más ligeros y seguros, y las cuerdas de nylon, mucho más resistentes y seguras. Esto ha permitido perseguir las cumbres por las rutas más difíciles y exigentes. Esta filosofía de concebir el montañismo a través de la escalada extrema fue instaurada por el alpinista Albert Mummery a finales del siglo XIX, pero sigue muy vigente en la forma de practicar el alpinismo actual.

En este contexto, se puede decir sin lugar a dudas, que el siglo XX supone la introducción de medios artificiales para la progresión en las paredes, lo que permitió ampliar los límites de dificultad de la escalada. Paralelamente, surge la necesidad de clasificar la dificultad de las vías apareciendo el “sexto grado” establecido por Hans Dülfer en 1912. El “sexto grado” representaría el límite de las posibilidades humanas para la escalada en roca con vías verticales, con presas muy escasas, desarrolladas por esfuerzos sostenidos y con una elevada exposición del cuerpo del alpinista al vacío. Así en 1926 Willy Welzebach propuso la clasificación de escalada en roca que sigue vigente hoy en día y que va del grado I a VI, en función del aumento de la dificultad. De esta forma, las vías más exigentes son abordadas con un amplio despliegue de materiales, apareciendo lo que hoy se conoce como escalada artificial, permitiendo su práctica incluso en paredes de hielo.

Sin embargo, alrededor de 1960 nacen en los Estados Unidos, nuevas tendencias hacia la escalada más natural utilizando más los anclajes que ofrecía la propia pared y minimizando el uso de materiales artificiales. Esto exigió una mejora notable en la forma física de los alpinistas que empezaron a entrenar y a preparar nuevas cualidades de fuerza, explosividad y elasticidad, desconocidas hasta la fecha en el alpinismo, donde predominaban los esfuerzos de tipo aeróbico. Nace así la escalada libre cuya filosofía queda muy bien recogida en la obra de George Meyers describiendo las nuevas tendencias de la escalada en Yosemite Park. Las paredes del Capitán (900 m) se convierten en un nuevo desafío, con sus grietas, chimeneas, diedros o el uso del péndulo para pasar de una vía a otra. Hoy en día Alex Honnold es el máximo exponente de esta tendencia, siendo capaz de afrontar las paredes más extremas sin ningún tipo de material de anclaje ni cuerda de seguridad. La escalada deportiva se había asentado en toda su plenitud.

Sin embargo, los desafíos del alpinismo no han quedado relegados sólo al ámbito de la escalada. Cuando la cima del Everest (8848 m) fue alcanzada por primera vez por el serpa Tenzing Norgay y el neozelandés Edmund Hillary en 1953, se tuvo la sensación de que ya no quedaba ya ningún desafío alpinista por desarrollar en el planeta Tierra. Nada más lejos de la realidad, los desafíos siguen muy vigentes hoy en día como son las ascensiones por encima de los 8000 m sin oxígeno, en solitario, subir las 14 cimas de más de 8000 m del planeta o las cimas más elevadas de cada continente. Cada nuevo desafío exige una gran inversión económica y una excelente forma física por parte de los montañeros. El alpinista italiano Reinhold Messner ha sido uno de los grandes pioneros de esta nueva forma de entender este deporte.

Finalmente, no hay que olvidar que el montañismo ha cogido un alto arraigo social en este nuevo siglo. Cada vez más personas acceden a las zonas de alta montaña y se adentran en vías extremas y peligrosas, muchas veces con una deficiente preparación física y logística. Por otro lado, las expediciones se han vuelto cada vez más mediáticas, con grandes inversiones por parte de patrocinadores, dando más difusión a este deporte y más accesibilidad a los grandes macizos a personas con menor poder adquisitivo y una pobre preparación (Vidal (s.f.), *Historia del montañismo*; Deportes extremos, *Historia del montañismo* (s.f.); Moreno & Escartín (2005)).

## ASPECTOS FISIOLÓGICOS

El montañismo, a diferencia de otras disciplinas deportivas, es una actividad sujeta y dependiente de numerosas variables tanto ambientales como individuales. Estas variables van a determinar los riesgos a los que se expone el alpinista, donde cabría destacar la altura misma, la velocidad de ascensión, las exposiciones previas de los sujetos a grandes alturas y la susceptibilidad individual al mal agudo de montaña (Schneider et al, 2002). De este modo, aunque los riesgos objetivos (dificultad geológica) de una montaña en periodo invernal o estival puedan parecer los mismos, éstos pueden variar significativamente dependiendo de otras variables como: la presencia temperaturas extremas y fuertes vientos, cambios en la humedad ambiental y variaciones en la sensación térmica por parte de los alpinistas. Esto puede provocar a la larga hipotermia y congelaciones. Asimismo, el sol produce quemaduras, insolación y conjuntivitis. Las ventiscas favorecen el enfriamiento corporal y desorientan a los alpinistas. Además, los accidentes geológicos y meteorológicos que incluyen deshielos, grietas, puentes de nieve, cornisas, lagos helados, aludes, niebla, lluvia, granizo, desprendimientos y tormentas, entre otros, aumentan el grado de dificultad y de exigencia física de estos deportistas. Finalmente, no hay que olvidar que toda esta actividad se realiza en condiciones hostiles a las que el organismo no está habituado fisiológicamente como son la baja proporción de oxígeno y de presión atmosférica.

De una forma general, los riesgos pueden clasificarse en varias categorías. Los riesgos subjetivos pueden ser físicos, por falta de entrenamiento y alimentación deficiente. Los riesgos técnicos se dan principalmente por falta de conocimientos, toma de decisiones equivocadas y falta de disciplina. Finalmente, los riesgos psíquicos aparecen por incapacidad moral, falta de atención, falta de experiencia y temeridad.

Una mala adaptación fisiológica a las condiciones de la montaña, puede traer como consecuencia el tener que invertir un mayor tiempo para realizar las ascensiones, incrementando el riesgo de aparición de patologías como el Mal Agudo/Crónico de Montaña. Esta patología desencadena cefaleas, insomnio, pérdida de apetito y fatiga general. Además, puede derivar en edema pulmonar y edema cerebral (Peacock,1998), problemas funcionales con aumento de los niveles de hemoglobina y hematocrito, alcanzando valores de hasta 20 g/dl y del 75% respectivamente (Velarde et al, 2000; Velarde, 2003). Además, la hipoxia extrema, el desequilibrio oxidativo y el frío son factores que pueden poner en riesgo el sistema inmunológico. El frío intenso puede aumentar el riesgo de congelaciones en altitudes superiores a 4500 m (Westerterp, 2001).

En la montaña predomina la pérdida de peso, tanto de masa grasa, como de masa magra, aunque con una buena preparación física previa, y una alimentación adecuada, se puede reducir el catabolismo muscular. Esta pérdida de peso se debe, a que prevalece una temperatura ambiental, generalmente por debajo de los 0°C, lo cual conlleva a un aumento del metabolismo basal, incrementando el gasto calórico. También, se suma la pérdida de apetito por la altitud elevada, favoreciendo un balance energético negativo.

Al haber un déficit de captación de oxígeno, se dificulta la utilización de lípidos como fuente energética, por lo tanto, si la alimentación no es idónea, el organismo tiende a obtener la energía de los hidratos de carbono por medio de la vía glucolítica. Al comenzar a escasear las reservas de glucógeno, el organismo obtendría la energía a partir de las proteínas, aumentando el catabolismo proteico y la ruta gluconeogénica. La pérdida de masa magra, también puede deberse a un mecanismo compensatorio, que busca una mayor eficiencia y menor gasto calórico en altitud (Westerterp et al, 1994). No hay que descartar el estrés que supone exponerse a las grandes alturas con un posible aumento en los niveles de cortisol (hormona de estrés) favoreciendo el catabolismo proteico. En cualquier caso, éstas son cuestiones que no han sido resueltas en su totalidad todavía.

A la hora de avanzar en este tema, sería interesante saber cómo se ven afectados los distintos sistemas corporales durante la práctica del alpinismo y la exposición a las grandes alturas.

**SISTEMA RESPIRATORIO.** La hipoxia induce un aumento de la frecuencia ventilatoria (Wenger, 2000), facilitando la eliminación de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), mejorando paralelamente la presión parcial de oxígeno (O<sub>2</sub>) alveolar, facilitando la difusión de O<sub>2</sub> a la sangre y, en consecuencia, aumentando la presión parcial de O<sub>2</sub> en sangre (Vogtel, 2010). Esta adaptación ventilatoria no es constante, sino que es mayor durante las primeras 24 horas de exposición a grandes alturas.

**SISTEMA CARDIOVASCULAR.** Al alcanzar una altura determinada, aumenta la actividad simpático-adrenal, resultando en un aumento de la frecuencia cardiaca (FC) (Calbet, 2006; González, 1996). Esta taquicardia no se mantiene en el tiempo (Peacock, 1998), ya que tras los 5-7 primeros días en altitud, disminuye la FC y el volumen sistólico. Es por ello, que ciertos autores han utilizado la FC como un posible indicador de la aclimatación (Richalet et al, 1989).

Se ha visto que, en hipoxia, la FC máxima se reduce, probablemente como mecanismo de autoprotección del corazón para no aumentar sus necesidades metabólicas por encima del aporte de O<sub>2</sub> que le llega (Ferrer, 1996). También se produce un aumento del número y grosor capilar, que favorece la difusión del O<sub>2</sub> (Ishchuk, 2007). Finalmente, aumenta la afinidad de la hemoglobina por el O<sub>2</sub>, facilitando con ello su liberación a los tejidos (Cerretelli y Samaja, 2003).

**SISTEMA ENDOCRINO.** En hipoxia aguda aumentan los niveles de adrenalina y noradrenalina. La concentración de adrenalina recupera los niveles basales muy pronto. Sin embargo, la noradrenalina continúa elevada durante varias semanas si continúa la estancia en altitud. También se observa un incremento de los niveles del cortisol y de la hormona del crecimiento a altitudes por encima de 4000 m (Gonzales, 1996). Existe una disminución en la secreción de insulina, durante exposiciones hipóxicas (Chen et al, 2007; Lee et al, 2013). El aumento de los niveles de testosterona se asocia a un aumento de la hemoglobina, aumentando la cantidad de glóbulos rojos y el transporte de O<sub>2</sub> (Gonzales, 2011). A nivel metabólico, se produce una preferencia por la utilización de los hidratos de carbono y las vías glucolíticas (Fenkcy, 2006; Gonzales, 1996; Wenger, 2000).

**BIOQUÍMICA SANGUÍNEA Y HEMATOLOGÍA.** La hipoxia estimula la producción de eritropoyetina (EPO), aumentando el número de reticulocitos, hemoglobina y eritrocitos, lo que a larga implica un aumento en el transporte de O<sub>2</sub> en sangre (Ferreti et al, 1990). De todas formas, hay que tener en cuenta que largas estancias de 2-4 semanas, aumentan la demanda de hierro, induciendo a una posible deficiencia de éste, que puede repercutir en una correcta respuesta hematopoyética (Evstatiev y Gasche, 2012; Haase, 2010).

El alpinismo se puede considerar un ejercicio continuo de larga duración y de intensidad muy variable, en el que influye principalmente, el peso de la mochila, la altitud, el desnivel y la técnica de escalada. Entrenar la eficiencia, la capacidad aeróbica junto a la capacidad de recuperación es imprescindible en este deporte, principalmente, debido a la hiperventilación y al aumento de la FC. A su vez para mantener una correcta potencia aeróbica y capacidad de recuperación, es conveniente realizar un método de entrenamiento interválico intensivo-extensivo, con un componente de fuerza-resistencia aeróbica. La eficiencia y la capacidad aeróbica se trabajarían con métodos continuos uniformes y variables en la propia montaña, manteniendo especificidad y un alto volumen de trabajo.

La planificación se debe dividir en 3 periodos: a) Periodo preparatorio general (actividades físico-deportivas de carácter aeróbico), b) Periodo específico (ejercicios de fuerza específicos de la montaña combinado con trabajo en umbral anaeróbico individual y con trabajo de eficiencia aeróbica, y estrategias de ayuno) y c) Periodo competitivo (alto volumen de entrenamiento en



montaña durante los fines de semana, y entre semana, precondicionamiento mediante sesiones activas y pasivas en hipoxia intermitente). Cada periodo se compone de mesociclos, que suelen contener 3 semanas de carga y 1 semana de recuperación (Urdampilleta, 2015).

Antropométricamente hablando, los alpinistas de alto nivel deben tener baja cantidad de masa grasa (6-8%), ya que en montaña todo peso se considera un lastre. Asimismo, y como se ha comentado, el organismo presenta dificultades para obtener energía de los lípidos. También se debe buscar una masa muscular moderada (no superior al 47%), suficiente como para poder general unos niveles de fuerza adecuados durante la escalada y en diversos momentos, sin suponer un exceso de peso. Además, es conveniente tener un IMC bajo (20-22) y extremidades largas (Urdampilleta, 2015), aunque este último rasgo depende enteramente de la genética de cada sujeto.

### **PAUTAS NUTRIONALES**

En situaciones de frío intenso, hipoxia y actividad física se requieren entre 4500-6000 kcal/día (Koehler et al, 2011; Westerterp, Kaiser, 1994). Sin embargo, tanto por la infraestructura, como por la falta de apetito en altitud, no se realizan ingestas energéticas mayores de 2250 kcal/día (Urdampilleta y Martínez-Sanz, 2012). Por ello, la fuente principal de energía serán los hidratos de carbono, aunque deberán utilizarse grasas, principalmente monoinsaturadas, para aumentar la ingesta energética. Las proteínas que se consuman producirán un efecto saciante, al ser más difíciles de digerir (Acheson, 2011, Veldhous et al, 2012).

Durante el periodo de entrenamiento, la ingesta alta de hidratos de carbono es imprescindible en deportes en los que se compite en altitud (Fulco, Kambis, 2005). Una ingesta de HC, 7-9 g/kg al día y realizar sobrecargas de 10-11 g de HC/kg durante los días previos a la ascensión, se relaciona con un mayor rendimiento deportivo (Hawley y Burke, 2010). Por otra parte, en los entrenamientos intensos de 1-2 h se necesita una ingesta de 60 g de HC/h (Jeukendrup, 2014).

Para la recuperación post-entrenamiento en hipoxia, se recomienda la toma combinada de hidratos de carbono (HC) en cantidades de 1,2-1,5 g de HC/kg con 20 g de proteínas (P) (conteniendo 9 g de aminoácidos esenciales) (proporción 2-3/1, HC/P) (Urdampilleta et al, 2012). Todo ello aumenta el rellenado de los depósitos de glucógeno y la recuperación muscular (Beelen et al, 2010). Para la recuperación tras los entrenamientos en altitud y de fuerza-resistencia, una ingesta sobre 1,6 g de proteínas/kg de peso, parece que podría favorecer el mantenimiento de la masa muscular (Urdampilleta et al, 2012), siendo mejor si se añaden aminoácidos ramificados (Negro et al, 2008), dando preferencia entre ellos a la leucina (Wing-Gaia, 2013 y 2014).

En altitud, las necesidades de hierro en el organismo aumentan por el aumento de la eritropoyesis. Por eso, en este deporte se sugiere aumentar la ingesta de hierro de tipo hemo en la dieta. En este sentido, se recomienda la suplementación de 20-22mg de hierro al día con 100-500 mg de vitamina C para favorecer su absorción y 10 mg de vitamina E como antioxidante (Urdampilleta, 2013).

Finalmente, según Urdampilleta et al (2013), hay que seguir un protocolo de hidratación en cada sesión de entrenamiento en hipoxia intermitente. Se recomienda tomar 1 l de agua, o bebida hipotónica (máximo 4% de HC y 0,2 g Na/l), 2 horas antes. Durante la sesión 0,75 l de bebida isotónica al 9% de HC y 0,7 g de Na/l. Después de la sesión, se aconseja recuperar los líquidos en un 150% del peso corporal perdido, tomando bebidas hipertónicas y recuperadoras con 1-1,2 g de Na. Las tomas de agua deben ser de 200-300 ml cada 15-20 min.

## **OBJETIVOS**

Este trabajo se ha llevado a cabo, con motivo de maximizar los beneficios que conlleva la combinación del entrenamiento con la alimentación para alpinistas, y así optimizar el rendimiento deportivo, disminuyendo la aparición del mal agudo de montaña.

Urdampilleta (trabajo de tesis doctoral) estableció un modelo de entrenamiento basado en mejoras adaptativas del organismo a la altura combinando entrenamientos en hipoxia intermitente con ejercicios a altitudes medias (2000-3000 m). Para dicho modelo se establecieron unas pautas nutricionales. Sin embargo, se desconoce el beneficio que aportaban dichas pautas ya que no se habían plasmado en una planificación dietética concreta. Por todo ello, el presente trabajo pretende evaluar en qué medida un seguimiento dietético completo apoyaría los beneficios del entrenamiento en hipoxia intermitente.

Para ello, se va a estudiar la prevalencia del mal agudo de montaña en una población de alpinistas que se van a entrenar según el protocolo especificado por Urdampilleta en su tesis doctoral, a los que se les va a dar unas pautas nutricionales generales, pero sin un seguimiento concreto de su dieta. Los datos se comparan con los recogidos por el propio Urdampilleta en otra población de alpinistas a los que se les controlaba de forma precisa tanto el entrenamiento como la dieta.

El objetivo final fue poder evaluar de forma aproximada y preliminar (ya que la población de alpinistas estudiados fue muy escasa  $n=5$ ), la contribución de la intervención dietética para la adaptación a la altitud, midiendo la aparición de síntomas de mal agudo de montaña.

## **3. MATERIAL Y MÉTODO**

Este estudio, se trata de un ensayo experimental, controlado y aleatorizado. Los sujetos se dividen en un grupo control (entrenamiento en hipoxia intermitente y seguimiento dietético-nutricional), o al grupo experimental (sólo entrenamiento en hipoxia intermitente y pautas dietéticas).

### **3.1 MUESTRA**

En el grupo control, participaron 16 alpinistas varones con edades comprendidas entre 32 y 40 años, de la Comunidad Autónoma Vasca y la Comunidad Foral de Navarra, que pretendían hacer una expedición por encima de los 4500 m. Los datos fueron recopilados en el Centro de entrenamiento Elikaesport por el Dr Urdampilleta. Los participantes tenían experiencia en el entrenamiento de tipo aeróbico, y con poca práctica en entrenamiento de fuerza. Todos estaban federados en montaña. El grupo experimental estaba formado por 5 alpinistas ilicitanos del grupo Reto Everest con experiencia de entrenamiento similar a la del grupo control.

### **3.2 PROCEDIMIENTO**

Antes de comenzar con el entrenamiento, todos los participantes realizaron una fase de homogenización de dos semanas, que consistió en 7 sesiones de entrenamiento (3-4 sesiones/semana) para comenzar con una adaptación al programa de entrenamiento en hipoxia y a los hábitos dietéticos (sólo en el grupo control).

El Grupo Control, implementó un programa de entrenamiento físico integral para alpinistas al programa de hipoxia intermitente, unido a una planificación dietético-nutricional y de suplementación. El Grupo Experimental realizó los mismos protocolos de planificación, a excepción del seguimiento dietético, aunque se les dieron algunas pautas que en realidad no



llegaron a seguir. Se puede decir por ello, que la nutrición del grupo experimental no fue enteramente óptima.

En cuanto al protocolo de hipoxia intermitente, se siguió el modelo de Rodríguez et al (1999 y 2000) e Ibáñez et al (2000). Dichos modelos combinan exposiciones activas y pasivas a altitudes elevadas (entre 4500-5500 m), con sesiones de 3-4 horas y 3-5 sesiones/semana. Este protocolo fue adaptado a las características de los entrenamientos de los alpinistas, efectuando sesiones de hipoxia activa con un método interválico de fuerza-resistencia de alta intensidad y sesiones de 60-120 min, además se añadieron estancias en el monte en altitud moderada (2500-3000 m), los fines de semana.

### **3.2.1 ENTRENAMIENTO**

El programa de entrenamiento tuvo una duración de 13 sesiones de entrenamiento a lo largo de 3 semanas, realizando 4-5 sesiones semanales, cada sesión tenía una duración de 90 minutos, a altitudes de entre 4500-5850 m. Los sujetos utilizaron una metodología de fuerza con el uso de barras y discos, tanto para el tren superior como para el inferior, además, hicieron ejercicio intermitente en ciclo-ergómetro con series de 3 minutos a una cadencia de 95-100 rpm y una potencia de 220-240 w y sesiones pasivas de hipoxia a 4500-10000 m más alto que en el entrenamiento, con una duración de 30 minutos.

Los sujetos hicieron 2 veces semanales entrenamiento en bicicleta estática y otras 2 veces el entrenamiento de circuito de fuerza-res + bicicleta estática, durante 60 minutos. Los 30 minutos de la sesión restantes debían mantenerse en hipoxia. El programa de entrenamiento en hipoxia se efectuó con la integración de actividades específicas del montañismo (escalada, cuestras, marchas...), con una duración de 60 minutos.

Sesiones de bicicleta estática: se realizaba un trabajo continuo variable, por medio de series de 5 minutos a una intensidad de 220-230 w, cadencia de 95 rpm y 10 min de recuperación a 180-200 w, con cadencia de 85-90 rpm. Consiguiendo 4 cambios de ritmo y un total de 60 minutos.

Sesiones de circuito de fuerza-res + bicicleta estática: se llevó a cabo en dos partes.

- 1) Entrenamiento de fuerza: 6 ejercicios, realizados en circuito (sin descanso entre ejercicios), 30-40 repeticiones cada ejercicio (40 segundos por ejercicio), a un ritmo de  $\frac{3}{4}$ :1 repeticiones por segundo y una recuperación entre series de 90-180 segundos. Un total de 30 minutos de trabajo en el que realizaban 6-7 series. Los ejercicios fueron los siguientes, press frontal con mancuerna, media sentadilla con barra, bíceps con mancuerna, abdominales tijeras, remo vertical al pecho con mancuerna.
- 2) Ejercicio interválico en bicicleta estática: se buscaba un trabajo con la FC máxima entorno al 85% a una cadencia de pedaleo de 100 rpm y 200 w durante 3 min. Recuperaban 2-3 min realizando 5-6 series.

### **3.2.2 INTERVENCIÓN DIETÉTICO-NUTRICIONAL**

Sólo se aplicó al grupo control. Se comenzó haciendo una charla de 120 min sobre la educación nutricional, respecto a los protocolos que se seguirían y la importancia de estos. Y se hizo un plan dietético individualizado. Con el propósito de homogeneizar la muestra, se hizo una valoración dietética por medio de una historia dietética.

La intervención dietético-nutricional siguió las siguientes recomendaciones:

El consumo de proteínas fue de 1,6 g/kg/día e HC de 7g/kg/día (Hawley y Burke, 2010; Martínez-Sanz et al, 2013; Urdampilleta et al, 2012c), alcanzando las kcal faltantes por medio de lípidos, en torno al 25%. Se realizó un consumo energético de 45 kcal/kg/día (Martínez-Sanz et al, 2013).

La dieta se suplementó con la toma de hierro oral de 21 mg/día + vitamina C (1 g) + E (10 mg) + (Hemaplex II), puesto a que hay una exposición a situaciones de hipoxia (Martínez-Sanz y Urdampilleta, 2013; Mielgo-Ayuso et al, 2011).

El protocolo de hidratación, consistió en la toma previa al entrenamiento (2 h antes) de 1 l de agua o bebida hipotónica con un máximo de 4% de HC y 0,2 g Na/l. Durante el entrenamiento tomaron 0,75 l de bebida isotónica (9 % de HC y 0,5-0,7 g Na/l), 60 g de HC/h (Jeukendrup, 2014). Después del entrenamiento, se recuperó a lo largo de 6 h el 150% del peso perdido (Urdampilleta et al, 2013d), mediante bebida isotónica y un batido recuperador que contenía 1,2 g de HC/kg de peso (Burke et al, 2012), con proporción 3/1, HC/P (15-20 g de proteínas) (Urdampilleta et al, 2012). Las proteínas del batido eran de suero enriquecido con aminoácidos ramificados (AAR) (6 g) (Proporción Leucina/ Isoleucina/ Valina = 2/1/1) (Negro et al, 2012; Wing-Gaia, 2013, 2014).

TABLA 1:

**Ejemplo de dieta para alpinista de 1,75 m de altura y 70 kg de peso**

	L, M, J o V- ENTRENAMIENTO HIPOXIA	X-RECUPERACIÓN	S y D- MONTE	
<b>DESAYUNO</b>	LECHE ENTERA DE VACA (200,00gr.) CACAO EN POLVO AZUCARADO (5,00gr.) PAN TOSTADO DE TRIGO (50,00gr.) ACEITE DE OLIVA (15,00gr.)	LECHE ENTERA CON CALCIO (200,00gr.) CACAO EN POLVO AZUCARADO (10,00gr.) CEREALES "CORN FLAKES" (50,00gr.)	CAFE (INFUSION) (2,00gr.) MANZANA ROJA (200,00gr.) EMPANADILLAS DE ATUN (80,00gr.)	CAFE (INFUSION) (2,00gr.) COMPOTA DE MANZANA (200,00g) EMPANADILLAS DE BONITO (80,00gr.)
<b>ALMUERZO</b>	AVENA (50,00gr.) ZUMO DE NARANJA (COMERCIAL) (200,00gr.)	MANZANA ROJA (200,00gr.)		
<b>COMIDA</b>	ENSALADA MIXTA (VEGETAL) (50,00gr) ACEITE DE OLIVA (40,00gr.) MACARRONES HERVIDOS (100,00gr.) TOMATE FRITO (100,00gr.)	DORADA (150,00gr.) ESPINACA (100,00gr.) ACEITE DE OLIVA (20,00gr.) PATATA (200,00gr.) PAN BLANCO (100,00gr.)		

	<b>QUESO BLANCO PASTEURIZADO (70,00gr.)</b> <b>POLLO, PECHUGA (100,00gr.)</b>			
<b>MERIENDA</b>	<b>NARANJA (200,00gr.)</b> <b>CEREALES MUESLI (50,00gr.)</b>	<b>PAN BLANCO (100,00gr.)</b> <b>SALCHICHAS FRESCAS (50,00gr.)</b>		
<b>CENA</b>	<b>KIWI (100,00gr.)</b> <b>PURE DE PATATAS (50,00gr.)</b> <b>ARROZ PULIDO, SIN CASCARA, HERVIDO (200,00gr.)</b> <b>HUEVO (YEMA) (70,00gr)</b>	<b>ARROZ TRES DELICIAS (300,00gr)</b> <b>TERNERA (CARNE MAGRA) (110,00gr.)</b> <b>MELOCOTON (200,00gr.)</b>	<b>PASTA MILANESA (APTONIA) (120,00g)</b> <b>PAN PITA (120,00g)</b> <b>LOMO EMBUCHADO (20,00gr.)</b> <b>BIZCOCHO (100,00gr.)</b> <b>JAMON COCIDO (20,00gr.)</b> <b>ACEITE DE OLIVA (15,00gr.)</b>	<b>PAN PITA (120,00G)</b> <b>POLLO AL CURRI (DESHIDRATADO APTONIA) (120,00g)</b> <b>BIZCOCHO (100,00gr.)</b> <b>JAMON COCIDO (50,00gr.)</b> <b>ACEITE DE OLIVA (15,00gr.)</b> <b>1.300,00Kcal.</b>
<b>COMIDA DE ATAQUE</b>			<b>CACAHUETE SIN CASCASCARA (30,00gr.)</b> <b>ALMENDRA TOSTADA (30,00gr.)</b> <b>MAÍZ FRITO (20,00g)</b> <b>BARRITA (HIGH5) Energybar (180,00gr)</b> <b>NUEZ SIN CASCARA (60,00gr.)</b> <b>DATIL (30,00gr.)</b>	
<b>SUPLEMENTACIÓN</b>	<b>HC (144,00 GR.)</b> <b>PROTEÍNAS (20,00 GR.)</b>		<b>HC (144,00 GR.)</b> <b>PROTEÍNAS (20,00 GR.)</b>	<b>HC (144,00 GR.)</b> <b>PROTEÍNAS (20,00 GR.)</b>
<b>TOTAL KCAL</b>	<b>3.153,60Kcal.</b>	<b>2152,60Kcal.</b>	<b>6.309,50Kcal.</b>	

### 3.2.3 ANALÍTICA SANGUÍNEA

Se realizó extracciones sanguíneas antes y después de la fase experimental, dichas extracciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Análisis Clínicos Okiñena S.L., las variables estudiadas fueron las correspondientes para el diagnóstico de anemia o el déficit de hierro: Hematocrito (Hto), hemoglobina (Hb), eritrocitos (hematíes), ferritina (Fer), transferrina (Trf) y reticulocitos (Ret).

### 3.2.4 VALORACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL MAL AGUDO DE MONTAÑA

Se realizó, utilizando el cuestionario de Lake Louise, que pregunta por la aparición de síntomas típicos del mal agudo de montaña (ver anexo I). El cuestionario se pasó al inicio del entrenamiento en hipoxia intermitente y al final del mismo (3 semanas). Se consideró la presencia de mal agudo de montaña cuando la puntuación dio un valor de 3 o más puntos conjuntamente con la aparición de cefalea (dolor de cabeza).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En virtud de la Normativa para la realización de Trabajos Fin de Master, se reserva la publicación de los resultados obtenidos durante la realización del presente trabajo para su posterior publicación en una revista científica. No obstante, los resultados serán presentados durante la defensa y exposición de este trabajo, donde el tribunal contará con todos los datos para la evaluación de los objetivos conseguidos.

## 5. CONCLUSIONES

-El entrenamiento programado en hipoxia intermitente conjuntamente con una intervención dietética adecuada reduce significativamente la aparición del mal agudo de montaña en un 75%.

-La aportación de la dieta en este contexto, parece influir alrededor del 25%.

-Los factores dietéticos determinantes para disminuir el mal agudo de montaña fueron principalmente 2:

- a) Mantenimiento de una hidratación adecuada, ni en exceso para evitar la aparición de edemas, ni en defecto para provocar deshidratación severa.
- b) Ingesta adecuada de hidratos de carbono (7 g/kg) para evitar el catabolismo proteico muscular.

-Dado que la muestra experimental ha sido muy pequeña (n=5), estos resultados deben ser tomados con cautela, esperando realizar futuras investigaciones que pueden apoyar los datos obtenidos.

## 6. ANEXOS

Anexo I

Sintomatología	Puntuación
<b>1-Autoevaluación subjetiva</b>	
<b>1-DOLOR DE CABEZA (CEFALEA)</b> 0 Ausente 1 Leve 2 Moderada 3 Severa	

<p><b>2-APETITO Y SINTOMAS GASTROINTESTINALES</b></p> <p>0 Buen apetito  1 Poco apetito o nauseas  2 Nada de apetito, náuseas moderadas o vómitos  3 Nauseas o vómitos severos</p>	
<p><b>3- CANSANCIO Y/O DEBILIDAD</b></p> <p>0 Ausencia de cansancio  1 Fatiga o debilidad leve  2 Fatiga o debilidad moderada  3 Fatiga o debilidad severa o incapacitante</p>	
<p><b>4- VERTIGO / MAREOS</b></p> <p>0 Ausentes  1 Vértigo leve  2 Vértigo moderado  3 Vértigo severo incapacitante</p>	
<p><b>5- ALTERACIONES DEL SUEÑO</b></p> <p>0 Duerme como habitualmente  1 No duerme como habitualmente  2 Se despierta muchas veces, sueño nocturno escaso  3 No puede dormir</p>	
<b>2-Evaluación objetiva</b>	
<p><b>6- ALTERACIÓN DEL ESTADO MENTAL</b></p> <p>0 Ausente  1 Letargo  2 Desorientación o confusión  3 Estupor, seminconsciencia</p>	
<p><b>6- ATAXIA (falta de coordinación motora)</b></p> <p><b>Prueba de talón-punta</b></p> <p>0 Ausente  1 Gestos para mantener el equilibrio  2 Salirse de la línea fijada  3 Caerse</p>	
<p><b>7- EDEMA PERIFÉRICO</b></p> <p>0 Ausente  1 Edema en una localización  2 Edema en una o más localizaciones</p>	
<b>3-Evaluación del estado funcional</b>	
<p><b>8- ESTADO FUNCIONAL</b></p> <p>0 Sin reducción de la actividad  1 Reducción ligera de la actividad  2 Reducción moderada de la actividad  3 Reducción grave de la actividad (estar en la cama)</p>	

<b>DIAGNÓSTICO:</b>	<b>NO Padece MAM</b>	<b>MAM leve</b>	<b>MAM moderado</b>	<b>MAM grave</b>
<b>Según la puntuación total obtenida</b>	<b>1-3</b>	<b>4</b>	<b>4-6</b>	<b>7</b>

## 7. REFERENCIAS:

<http://www.deportesextremos.net/escalada-deportiva/historia-del-montanismo.php>

[www.fedc.es/appdocumentos/fedec/prod/montana.doc](http://www.fedc.es/appdocumentos/fedec/prod/montana.doc)

Acheson, K. J., Blondel-Lubrano, A., Oguey-Araymon, S., Beaumont, M., Emady-Azar, S., Ammon-Zufferey, C., ... & Bovetto, L. (2011). Protein choices targeting thermogenesis and metabolism. *The American journal of clinical nutrition*, 93(3), 525-534.

Beelen, M., Burke, L. M., Gibala, M. J., & Van Loon, L. J. (2010). Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20(6), 515-32.

Calbet, J. A. (2006). Efectos del Entrenamiento en la Altitud. *IX Jornadas sobre medicina y deporte de alto nivel, Madrid*.

Cerretelli, P., & Samaja, M. (2003). Acid-base balance at exercise in normoxia and in chronic hypoxia. Revisiting the "lactate paradox". *European journal of applied physiology*, 90(5-6), 431-448.

Chen, X. Q., Dong, J., Niu, C. Y., Fan, J. M., & Du, J. Z. (2007). Effects of hypoxia on glucose, insulin, glucagon, and modulation by corticotropin-releasing factor receptor type 1 in the rat. *Endocrinology*, 148(7), 3271-3278.

Evstatiev R, Gasche C. (2012). Iron sensing and signalling. *Gut*. 61(6), 933-52.

Fulco, C. S., Kambis, K. W., Friedlander, A. L., Rock, P. B., Muza, S. R., & Cymerman, A. (2005). Carbohydrate supplementation improves time-trial cycle performance during energy deficit at 4,300-m altitude. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 867-876.

Gonzales, G. F. (2011). Hemoglobin and testosterone: importance on high altitude acclimatization and adaptation. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(1), 92-100.

González Aramendi, J. M., Santisteban, J., & Ainz, F. (1996). Valoración funcional en laboratorio del remero de banco fijo. *Archivos de Medicina del Deporte*, 13(52), 99-105.

Haase VH. (2010). Hypoxic regulation of erythropoiesis and iron metabolism. *Am J Physiol Renal Physiol*, 299(1), F1-13.

Hawley, J. A., & Burke, L. M. (2010). Carbohydrate availability and training adaptation: effects on cell metabolism. *Exercise and sport sciences reviews*, 38(4), 152-160.

Ibañez, J., Casas, H., Casas, M., Ricart, A., Rama, R., Palacios, L. & Viscor, G. (2006). Efectividad de Tres Protocolos Intermitentes de Corta Duración de Exposición a Ambientes Hipobáricos e Hipóxicos: Respuestas Hematológicas. *PublICE Premium*.

Ishchuk, V. O. (2007). Safety and efficacy of the intermittent normobaric hypoxic training of elderly patients with ischemic heart disease. *J Acad Med Sci Ukraine*, 13, 374-384.

Jeukendrup, A. (2014). A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Medicine*, 44(1), 25-33.



Koehler, K., Huelsemann, F., de Marees, M., Braunstein, B., Braun, H., & Schaezner, W. (2011). Case study: simulated and real-life energy expenditure during a 3-week expedition. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(6), 520.

Lee, E. J., Alonso, L. C., Stefanovski, D., Strollo, H. C., Romano, L. C., Zou, B. & O'Donnell, C. P. (2013). Time-dependent changes in glucose and insulin regulation during intermittent hypoxia and continuous hypoxia. *European journal of applied physiology*, 113(2), 467-478.

León-Velarde, F. (2003). Pursuing international recognition of chronic mountain sickness. *High altitude medicine & biology*, 4(2), 256-259.

León-Velarde, F., Gamboa, A., Chuquiza, J. A., Esteba, W. A., Rivera-Chira, M., & Monge C, C. P. (2000). Hematological parameters in high altitude residents living at 4355, 4660, and 5500 meters above sea level. *High altitude medicine & biology*, 1(2), 97-104.

Martínez-Ferrer J, Garrido Marin E., (1996). Corazón y altitud. *Rev Lat Cardiol*; 17:164-174.

Mielgo-Ayuso, J., Urdampilleta, A., Martínez-Sanz, J. M., & Seco, J. (2011). [Dietary iron intake and deficiency in elite women volleyball players]. *Nutricion hospitalaria*, 27(5), 1592-1597.

Moreno, F. & Escartín, J. L. (2005), *Historia del alpinismo* ([http://platea.pntic.mec.es/~mmotta/web\\_chuli-paco/Historia%20del%20alpinismo.htm](http://platea.pntic.mec.es/~mmotta/web_chuli-paco/Historia%20del%20alpinismo.htm))

Negro, M., Giardina, S., Marzani, B., & Marzatico, F. (2008). Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(3), 347.

Peacock, A. J. (1998). Oxygen at high altitude. *Bmj*, 317(7165), 1063-1066.

Richalet, J. P., Keromes, A., Carillion, A., Mehdioui, H., Larmignat, P., & Rathat, C. (1989). Cardiac response to hypoxia and susceptibility to mountain sickness. *Archives des maladies du coeur et des vaisseaux*, 82, 49-54.

Rodríguez, F. A., Casas, H., Casas, M., Rama, R., Ricart, A., Ventura, & Viscor, G. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(2), 264-268.

Rodríguez, F. A., Ventura, J. L., Casas, M., Casas, H., Pagés, T., Rama, R., Ricart, A., Íbañez, J. & Viscor, G. (2000). Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *European journal of applied physiology*, 82(3), 170-177.

Schneider, M., Bernasch, D., Weymann, J., Holle, R., & Bartsch, P. (2002). Acute mountain sickness: influence of susceptibility, preexposure, and ascent rate. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(12), 1886-1891.

Urdampilleta, A. (2015). *Eficacia de un programa de entrenamiento interválico de fuerza resistencia en hipoxia intermitente combinado a un plan dietético-nutricional en la preparación integral de alpinistas*. Doctorado. Universidad Miguel Hernández.

Urdampilleta, A., & Sanz, J. M. (2012). Riesgos médico-nutricionales y planificación dietética en el alpinismo. *European Journal of Human Movement*, (28), 35-66.

Urdampilleta, A. Valoración fisiológica y bioquímica del deportista de resistencia. EFDeportes. com [revista en internet]. 2013 [citado 11 ene 2014]; 18: 181.

Urdampilleta, A., Vicente-Salar, N., & Sanz, J. M. M. (2012). Necesidades proteicas de los deportistas y pautas dietético-nutricionales para la ganancia de masa muscular. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 16(1), 25-35.

Veldhorst, M. A., Westerterp, K. R., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2012). Gluconeogenesis and protein-induced satiety. *British Journal of Nutrition*, 107(04), 595-600.

Vidal, E., s.f., *Historia del montañismo* (<http://erosvi.webcindario.com/historia-del-monta%C3%B1ismo.htm>)

Vogtel, M., & Michels, A. (2010). Role of intermittent hypoxia in the treatment of bronchial asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *current opinion in allergy and clinical immunology*, 10(3), 206-213.

Wenger, R. H. (2000). Mammalian oxygen sensing, signalling and gene regulation. *Journal of Experimental Biology*, 203(8), 1253-1263.

Westerterp, K. R., Kayser, B., Wouters, L., Le Trong, J. L., & Richalet, J. P. (1994). Energy balance at high altitude of 6,542 m. *Journal of Applied Physiology*, 77(2), 862-866.

Westerterp, K. R., Meijer, E. P., Rubbens, M., Robach, P., & Richalet, J. P. (2000). Operation Everest III: energy and water balance. *Pflügers Archiv*, 439(4), 483-488.

Westerterp, K. R. (2001). Energy and water balance at high altitude. *Physiology*, 16(3), 134-137.

Wing-Gaia, S. L., Gershenoff, D. C., Drummond, M. J., & Askew, E. W. (2013). Effect of leucine supplementation on fat free mass with prolonged hypoxic exposure during a 13-day trek to Everest Base Camp: A double-blind randomized study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(3), 318-323.

Wing-Gaia, S. L. (2014). Nutritional Strategies for the Preservation of Fat Free Mass at High Altitude. *Nutrients*, 6(2), 665-681.

