

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE**

**EFFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO HÍBRIDO HIPÓXICO FRENTE AL  
ABORDAJE TRADICIONAL SOBRE VARIABLES DE RENDIMIENTO EN  
DEPORTISTAS DE ALTA MONTAÑA**

EFFECTS OF AN HYBRID HYPOXIC TRAINING AGAINST TRADITIONAL  
APPROACH ABOUT PERFORMANCE VARIABLES IN HIGH MOUNTAIN  
ATHLETES



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**Autor:** Míriam Navarrete González

**Titulación:** Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

**Convocatoria:** Mayo 2022

**Director:** Eva María Artés Rodríguez

## **Resumen**

**Contextualización:** Cada vez son más los deportistas de alta montaña que buscan alcanzar grandes cimas. En la preparación de este tipo de retos aparece un componente determinante como es la hipoxia (proceso fisiológico provocado en el organismo por la bajada de presión atmosférica). Por ello, surgen diversos métodos de entrenamiento para mejorarla (Interválico y Sprints repetidos), obteniendo beneficios por separado. La evidencia requiere una comparación de ambos entrenamientos y un nuevo enfoque híbrido que contenga lo mejor de cada uno de ellos.

**Objetivo:** Evaluar los efectos del entrenamiento híbrido hipóxico sobre las variables del rendimiento en deportistas de alta montaña frente a los métodos de entrenamiento tradicionales hipóxicos más usados en la actualidad.

**Método:** 30 alpinistas experimentados formarán 3 grupos de entrenamiento con una duración de 4 semanas, en una altitud simulada de 4.000 metros. Interválico Hipóxico: La duración y frecuencia de entrenamiento será 90', 3 días/ semana, 10 repeticiones de ejercicio interválico con periodos de 5' de ejercicio y 1' de recuperación entre repeticiones. Intensidad constante a un 66% de la potencia máxima (PM) e intervalos al 85%PM.

Sprints Repetidos: Cada sesión constará de 3 x 5 (10''), con periodos de 20'' y 5' de recuperación.

Híbrido Hipóxico: 3 x 5 (10'') / (20'' y 5') de recuperación. Añadiendo de manera intermitente intensidades de un 66%PM y 85%PM con exposiciones de hipoxia progresiva entre 5' y 7' con intervalos de recuperación.

Se evaluarán los umbrales ventilatorios, valores hematológicos y el consumo máximo de oxígeno mediante una ergoespirometría y un análisis de sangre. La capacidad de recuperación se evaluará con el Yo-Yo Test.

**Conclusión:** Se espera que los tres entrenamientos produzcan mejoras en las variables claves de la alta montaña, siendo ideal el entrenamiento híbrido para optimizar el rendimiento, debido a la suma de los beneficios que aportan ambos modelos tradicionales.

**Palabras clave:** Alta montaña, hipoxia, rendimiento, entrenamiento interválico, VO2max.

## **Abstract**

**Contextualization:** More and more high mountain athletes are seeking to reach great peaks. In the preparation for this type of challenge, a determining component appears as hypoxia (physiological process caused in the body by the drop in atmospheric pressure). For this reason, different training methods are used to improve it (Interval and repeated Sprints), obtaining benefits separately. The evidence requires a comparison of both training and a new hybrid approach containing the best characteristics.

**Objective:** To evaluate the effects of hybrid hypoxic training on performance variables in high-mountain athletes compared to the most commonly used traditional hypoxic training methods.

**Method:** 30 experienced mountaineers will form 3 training groups with a duration of 4 weeks and in a simulated altitude of 4,000 meters. Intervalic Hypoxic: Training frequency will be 90', 3 days/week, 10 repetitions of intervalic exercise with periods of 5' of exercise and 1' of recovery between repetitions. Constant intensity at 66% of maximum power (MP) and intervals at 85% MP.

Sprint Repetitions: Each session will consist of 3 x 5 (10"), with 20" and 5' recovery periods.

Hybrid Hypoxic: 3 x 5 (10") / (20" and 5" recovery periods). Intermittently adding intensities of 66%PM and 85%PM with progressive hypoxia exposures between 5' and 7' with recovery intervals.

Ventilatory thresholds, hematological values and maximal oxygen consumption will be evaluated by ergospirometry and blood analysis. Recovery capacity will be assessed with the Yo-Yo Test.

**Conclusion:** It is expected that the three training sessions will produce improvements in the key variables of the high mountain, being the hybrid training the key to optimize performance due to the sum of the benefits provided by both traditional models.

**Key words:** High altitude, hypoxia, performance, intervalic training, VO<sub>2</sub>max.

## **Índice**

<b>Contextualización .....</b>	<b>1</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>3</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>8</b>
<b>Diseño del estudio .....</b>	<b>8</b>
<b>Aspectos éticos de la investigación .....</b>	<b>8</b>
<b>Participantes.....</b>	<b>8</b>
<b>Procedimientos.....</b>	<b>9</b>
<b>Evaluaciones.....</b>	<b>10</b>
<b>Intervención: .....</b>	<b>13</b>
<b>Análisis Estadístico .....</b>	<b>15</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>17</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>18</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>21</b>

## **Contextualización**

Cada año son cientos de personas las que se lanzan a las montañas y cumbres más altas sin una previa preparación para ello. El factor de la altitud suele denotar un contexto extremo, muchas de ellas sin dudar su capacidad para la aclimatación del medio al que se exponen en las expediciones. Normalmente las cumbres que rodean a nuestro entorno alpino no suelen superar los 4000 metros de altitud por ello los deportistas que se aventuran a realizarlas no suelen involucrar entrenamientos que faciliten las adaptaciones fisiológicas del propio cuerpo al someterse a un ascenso (Durand & Jornet, 2013).

En 1924 se realizó el primer intento de ascenso del Everest, marcando así un antes y un después en las expediciones en el Himalaya, cabe destacar los tantos fracasos habidos en esas montañas como el de Mallory e Irvine antes de desaparecer en una de las zonas próximas a la cumbre de esta montaña. Años después, en 1953, se presencié el ascenso exitoso por primera vez del Everest, Edmund Hillary y Tenzing Norgay consiguiendo conquistar la cima de la montaña más alta del planeta Tierra (Baldwin, 2010).

Según la definición biológica de altitud podemos encontrar 4 estadios distintos a observar. En primer lugar, se encuentra la baja altitud: ronda entre los 0 metros y los 1000 metros, no se observa ningún cambio fisiológico aparente. Altitud media: entre los 1000 metros y los 2000 metros, en reposo no hay cambios en el sistema, en cuanto al rendimiento máximo del atleta se empieza a notar cambios en el ejercicio. Gran altitud: entre los 2000 metros y 5500 metros, hace efecto tanto en el ejercicio físico como en reposo, ya se empiezan a notar adaptaciones de hipoxia debido a la altitud. Altitud extrema: entre los 5500 metros y los 8848 metros. La vida del ser humano a esta altitud es totalmente impensable, la capacidad pulmonar del ser humano empieza a cambiar con el estrés hipóxico y la presión del oxígeno en sangre (Durand & Jornet, 2013).

La exposición a la altitud para el ser humano puede suponer cambios homeostáticos en el cuerpo como resultado de la baja presión parcial de oxígeno en la sangre arterial influyendo

en la utilización y el transporte del oxígeno (Green, 2000). Entre la serie de respuestas que ocurren debido a la aclimatación se encuentran adaptaciones metabólicas y cardiorrespiratorias (Bailey & Davies, 2000).

Debido a los rápidos ascensos que se realizan al sobrepasar los 4000 metros de altitud, aproximadamente más de 300 metros al día, los alpinistas o montañistas pueden padecer lo que se conoce como el mal de altura. Es reconocible por una serie de síntomas que se van desencadenando según se asciende y predomina la falta de aclimatación a la hipoxia, los síntomas podrían ser dolor de cabeza, mareos, náuseas, insomnio e incluso pérdida del apetito, llegando a producirse un edema pulmonar o cerebral (Maggiorini, 2001). Como solución rápida a este suceso se le proporciona al sujeto oxígeno, si hay disponible en la expedición, y descender aproximadamente 300 metros de altitud lo antes posible para reducir el estrés hipóxico y así aumentar la presión de oxígeno del alpinista (Imray et al., 2010).

En muchas ocasiones se utiliza el término de aclimatación donde la altitud sobrepasa los 8000 metros, probablemente no debería utilizarse ya que la evidencia sugiere que el cuerpo realmente no se adapta a esa altitud sino que empieza a deteriorarse, por ello, hablamos de hipoxia; principal factor del deterioro fisiológico (West, 1993).

El ejercicio físico induce la hipoxemia, fenómeno que se observó en 1946. La hipoxia Hipobárica surge como consecuencia de la falta de aclimatación a la altitud; proceso fisiológico por el cual la presión atmosférica disminuye, la presión barométrica (PB) desciende a medida que aumenta la altitud en igual medida que la presión parcial de oxígeno (PO<sub>2</sub>), por lo tanto, menor presión de oxígeno inspirado (Avellanas Chavala, 2018).

Debido a estos cambios fisiológicos que se producen en el sistema surge el uso de técnicas de entrenamiento bajo condiciones de hipoxia que se ha incrementado en los deportes populares de equipo durante la pasada década (McLean et al., 2014).

Es imprescindible la gestión de la respiración que puede llegar a ser un factor clave en el rendimiento del deportista y llegar a lograr el éxito (Durand & Jornet, 2013).

## Marco Teórico

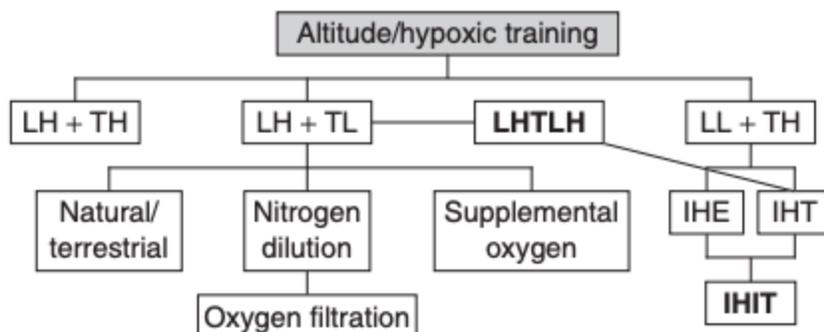
Para muchos deportistas de alta montaña el entrenamiento bajo la condición de hipoxia ha condicionado el rendimiento de todos los atletas alrededor de todo el mundo, con el único propósito de conseguir notables diferencias con respecto a aquellos que entrenan a nivel del mar (Avellanas Chavala, 2018).

A lo largo del siglo XX surgieron distintos tipos de entrenamientos para la aclimatación de estos deportistas poniendo en duda si realmente entrenar en altitud era la única y nueva variable para mejorar el rendimiento en ambientes de normoxia. Los profesionales frecuentaban el uso de este modelo de entrenamiento llamado ‘Live High - Train Low’, cuyo método consiste en la adaptación de los atletas a vivir y dormir bajo condiciones de hipoxia durante su vida diaria a gran altitud, y a nivel del mar en los entrenamientos. Según Avellanas Chavala, (2018), demostrar una evidencia certera de que este tipo de entrenamiento sea efectivo de manera sólida podría descartarse. Después de la intervención en el grupo de control se llegó a la conclusión de que no había diferencias significativas con los atletas que no seguían este modelo de entrenamiento (Bejder & Nordsborg, 2018). En estos tipos de modelo destaca el factor del tiempo que se exponen los atletas a hipoxia ya sea cuando realizan su vida diaria o están entrenando, por ello surge otro modelo conocido como ‘Live Low - Train High’, donde el atleta vive y duerme a nivel del mar en condiciones de normoxia, y el entrenamiento lo realiza en condiciones de hipoxia. Debido a los periodos cortos de exposición de hipoxia de al menos 3 h, 2 a 5 veces a la semana, siendo insuficiente la cantidad de exposición deseada para alcanzar el máximo rendimiento bajo los efectos de hipoxia. Como adaptación a este tipo de entrenamiento se sugiere introducir intervalos intermitentes de hipoxia (IHE) donde no haya ninguna actuación del entrenamiento durante estas cortas sesiones de exposición aumentando así las adaptaciones hipóxicas en el sistema muscular en altas intensidades (McLean et al., 2014).

Hasta hace poco, los atletas de modalidades en deportes de gran resistencia han usado distintos métodos para buscar la vía más efectiva a la hora de mejorar su rendimiento, como mejora de las adaptaciones de los entrenamientos en altitud surgen modelos de dispositivos

de hipoxia. Estos sistemas están orientados a los atletas que quieran adquirir los beneficios del entrenamiento de hipoxia, pero sin la necesidad de situarse definitivamente en altitud o desplazarse para realizar los entrenamientos y que no suelen estar al alcance de todos los deportistas (West, 1993).

*Figura 1. Diferentes métodos hipóxicos.*



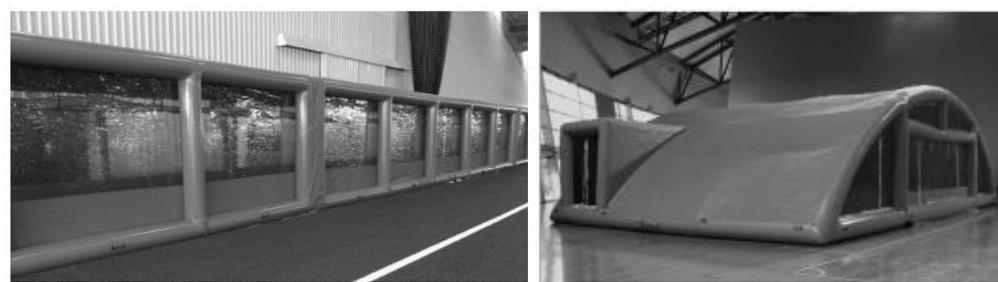
El método tradicional y actualmente más usado es el uso del oxígeno suplementario, hoy en día las cumbres están repletas de alpinistas que lo usan para facilitar las adaptaciones que previamente no han desarrollado en los entrenamientos, cabe destacar que el uso de oxígeno adicional tiene eficacia en la VO<sub>2</sub>max en condiciones de máxima intensidad durante el ejercicio y normoxia, también asociado a la disminución de la acumulación de lactato en el músculo y en la sangre (Wilber, 2001).

Sin embargo, una de las soluciones genéricas del entorno es la hipoxia normobárica vía dilución de nitrógeno, una especie de casa u hotel de nitrógeno, simulando las mismas condiciones de altitud como si el atleta estuviera a un nivel de aproximadamente entre 2000 y 3000 m. Las condiciones fisiológicas dadas en este entorno son de 760 mm Hg en la presión barométrica y un descenso de la concentración del oxígeno inspirado comparado a nivel del mar. Cumpliendo las condiciones de exposición de hipoxia normobárica en un rango entre 12 a 16 horas se llega a evidenciar el aumento del nivel de eritropoyetina (EPO) y un aumento de las células rojas en sangre (Thomas et al., 2007; Wilber, 2001).

Otro aparato usado por los atletas para simular la altitud, son los sistemas de tiendas hipóxicas y últimamente más usado. Son camas o tiendas de campaña que cubren la zona justa donde

el deportista va a dormir. Estas tiendas pueden llegar a simular hasta altitudes de 4500 m aproximadamente mediante una membrana que filtra el oxígeno haciendo que se reduzca la concentración de O<sub>2</sub> fuera de la propia tienda. Existen ciertas desventajas que han sufrido los deportistas con el uso de las cámaras hipobáricas como el calor, la incomodidad e incluso afectando a la calidad del sueño. Por ello surge el método de entrenamiento interválico hipóxico (IHT) (Hinckson et al., 2005; Wilber, 2001).

*Figura 2. Sistemas de hipoxia simuladas mediante tiendas inflables.*



El IHT surgió en la antigua Unión Soviética siendo un sistema de entrenamiento basado en realizar continuas y repetidas exposiciones de hipoxia progresiva entre 5 y 7 minutos de duración seguidos con intervalos de recuperación. Estas repetidas exposiciones pueden llegar a modificar el transporte de O<sub>2</sub>, PO<sub>2</sub> y la presión sanguínea generando un aumento de respuesta ventilatoria hipóxica (Bernardi, 2001).

El gran potencial del IHT puede llegar a inducir ciertas adaptaciones moleculares y tensión fisiológica, sin embargo, esto no significa que necesariamente haya una evidencia clara en la mejora de la capacidad del ejercicio físico. A pesar de la mejora en las adaptaciones fisiológicas observadas en el entrenamiento interválico hipóxico aún no queda clara su efectividad en la optimización del estímulo a la hipoxia en el entrenamiento, por ello, para cubrir las limitaciones existentes surge el entrenamiento de sprints repetidos en hipoxia (RSH). El RSH es un método basado en la repetición de sprints cortos con una duración de 30 segundos cada uno con la particularidad de integrar recuperaciones incompletas en estado de hipoxia. Este método, IHT, diverge del modelo RSH, hasta la intensidad del estímulo en el entrenamiento es máxima. Recientemente, se ha demostrado que RSH atrasa el nivel de

fatiga en los atletas durante la repetición de las series de los sprints cortos hasta quedar exhaustos (Faiss et al., 2013).

Son varios los objetivos que plantean los distintos métodos de entrenamiento en hipoxia, de manera genérica se puede afirmar que va más allá del aumento en la capacidad de transporte de O<sub>2</sub>. Sin embargo, la futura puesta en práctica del entrenamiento hipóxico supondrá abundantes decisiones sobre cómo combinar estos métodos para inducir un rendimiento óptimo en los deportes de alta montaña hasta alcanzar el máximo rendimiento del atleta (Bassovitch, 2010).

La densidad de los sprints (ratio tiempo de trabajo / tiempo de descanso) es determinante para programar y diseñar este tipo de entrenamiento (Gatterer et al., 2018).

El IHT evidencia mejoras en el umbral anaeróbico después de los entrenamientos con exposiciones de hipoxia, aumentando un 5% el VO<sub>2</sub>max, mientras que el RSH genera un 35% el retraso de la fatiga durante los sprints con recuperaciones incompletas hasta llegar a un agotamiento total del atleta (Monge Pérez, 2014). Sin embargo, ningún cambio en las variables hematológicas han sido observadas en el IHT (Bassovitch, 2010). Se ha observado que la vasodilatación compensatoria junto con un aumento del porcentaje del flujo sanguíneo produce mejoras en el mantenimiento constante del consumo total de O<sub>2</sub> al músculo siendo máxima debido a la intensidad del ejercicio (Franck Brocherie, et al. 2016).

Pueden influir en gran medida las adaptaciones hematológicas tras el entrenamiento en altitud, teniendo en cuenta esto, el porcentaje de hematocrito y de hemoglobina en los deportistas de resistencia fue un factor clave para destacar que no hubo cambios significativos con el entrenamiento respecto al RSH (Heikura et al., 2018).

A día de hoy, según los estudios anteriormente mencionados, no existe una clara evidencia de qué tipo de entrenamiento puede llegar a ser más beneficioso para conseguir aumentar el rendimiento óptimo en el ejercicio a gran altitud, numerosos beneficios son citados en los dos tipos de entrenamiento llegando incluso no solo a comparar el entrenamiento interválico

hipóxico y el entrenamiento de sprints repetidos en hipoxia, sino creando la necesidad de disponer un nuevo tipo de entrenamiento que combine estos dos métodos siendo ideal para alcanzar el desempeño físico (Faiss et al., 2013).

*Tabla 1. Beneficios y limitaciones de los modelos hipóxicos actuales*

Método de entrenamiento	Beneficios			Limitaciones
	VO2máx	Valores Hematológicos	Capacidad de resistencia intermitente	
IHT	16% VO2max	induce una mayor tensión fisiológica y adaptaciones moleculares específicas	Durante ejercicios submáximos la respuesta ventilatoria se incrementa y la velocidad en el ejercicio máximo mejoró en 0,5km/h en 85%	No se observa ningún cambio significativo en la masa total de hemoglobina ni en el volumen de células rojas.
RSH	6% sprint PO, 6% VO2max	7% la potencia de salida correspondiente a 4 mmol de lactato en sangre	33% Yo-Yo con recuperación intermitente. Retrasando la fatiga durante un sprint repetido hasta el agotamiento	Los mecanismos específicos que pueden mejorar el rendimiento están aún por determinar con más estudios.

Tras la fundamentación teórica, el objetivo del estudio se basa en evaluar los efectos del entrenamiento híbrido hipóxico, para valorar qué factores determinantes del rendimiento en resistencia se deben optimizar y mejorar de manera efectiva en deportistas de alta montaña frente al abordaje tradicional.

## **Metodología**

### **Diseño del estudio**

Se trata de un estudio controlado aleatorizado en el que los participantes se asignan de forma aleatoria a un grupo de entrenamiento interválico hipóxico, a un grupo de entrenamiento de sprints repetidos en hipoxia y a un tercer y último grupo de entrenamiento híbrido de los dos métodos anteriores.

El estudio constará de 30 participantes (10 deportistas asignados al grupo de entrenamiento interválico hipóxico, 10 deportistas al grupo de entrenamiento de sprints repetidos en hipoxia y, por último, otros 10 participantes que corresponden al grupo del método híbrido). Siendo los participantes hombres y mujeres sin ningún tipo de categoría sexual.

Se les pedirá a los participantes no haber consumido geles energéticos o cafeína antes de las pruebas. Haber descansado bien y tener buena calidad del sueño, también se incluirá como factor necesario antes y después de realizar el protocolo de intervención.

### **Aspectos éticos de la investigación**

Los participantes serán reclutados de los clubes de montañismo de toda Andalucía. Se informará a todos los participantes acerca del procedimiento a seguir en los entrenamientos y deberán firmar un consentimiento por escrito o vía electrónica para ser finalmente incluidos. El Comité de Ética y Transparencia de la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada evaluará el protocolo.

### **Participantes**

Los participantes del estudio serán deportistas de alta montaña que practican montañismo o deportes de alta montaña.

Los criterios de inclusión serán:

- Deportistas que hayan realizado ascensiones de alta montaña, superando 4000 m de altitud.
- Tener entre 20 y 60 años.
- No haber sufrido alguna vez un edema pulmonar o cerebral.
- Que realicen un mínimo de 3 días de entrenamiento o práctica deportiva a la semana.

Como criterios de exclusión se tendrán en cuenta:

- Los deportistas que hayan entrenado previamente con los métodos de entrenamiento interválico hipóxico y de sprints repetidos bajos los efectos de la hipoxia.
- Los deportistas que han usado previamente algún/os sistemas de adaptación a la hipoxia.
- Como último criterio excluyente, que no pudiese desplazarse al territorio provincial de Granada y no tuvieran disponibilidad horaria para asistir a los entrenamientos semanales.

Como método de cegamiento del investigador, se les asignarán a los deportistas unos códigos personales y de manera aleatoria con las iniciales de sus nombres y apellidos más el número de control de cada participante, de manera que se eliminará el sesgo a la hora de realizar el análisis de los datos.

## **Procedimientos**

La intervención a seguir para la realización de los entrenamientos se llevará a cabo con una frecuencia de 2 días en semana, durante 4 semanas, en el Centro de Alto Rendimiento de Sierra Nevada (C.A.R.). Las sesiones se realizarán en horario de tarde, según la disponibilidad de los participantes. Todo el proceso será llevado a cabo por graduados de la actividad física y del deporte especializados en entrenamiento y deportes de alta montaña para la correcta supervisión y monitorización de los tests.

Antes de comenzar con todos los tests previstos en el proceso, los deportistas tendrán varias sesiones de familiarización y prueba con los respectivos tests, dándole toda la información necesaria correspondiente a estos.

Las mediciones de los tests se van a realizar en 3 días distintos: La medición inicial (PRETEST) se realizará 1 día previo al comienzo de las sesiones de entrenamiento, la segunda medición (TEST) se realizará el día posterior a la finalización de las sesiones (POSTEST) de entrenamiento y, por último, la última medición se llevará a cabo tras dos semanas posteriores a la intervención.

## **Evaluaciones**

Los test que se van a realizar son: Ergoespirometría, Yo-Yo Test IR2, y, por último, un análisis de sangre.

### **Ergoespirometría**

Es una prueba de esfuerzo cardiorrespiratoria no invasiva utilizada para obtener los umbrales ventilatorios del deportista. Analiza los gases espirados durante un trabajo de ejercicio físico y determina la potencia aeróbica máxima como predictor del rendimiento aeróbico mediante el VO<sub>2</sub> máx.

Se realizará mediante una prueba incremental o progresiva en un tapiz rodante con rampa, donde el sujeto se somete a cargas relativamente bajas sin someterse a grandes fuerzas, siendo el tiempo de realización de 8 a 12 minutos y consta de siete fases o etapas de 3 minutos, de manera progresiva aumentará la velocidad y la pendiente de la cinta. El sujeto deberá de llevar puesta una máscara de VO<sub>2</sub> y se le colocarán electrodos para la monitorización.

Los datos que se tomarán durante y al final de la prueba serán: Tensión arterial (TA), electrocardiograma (ECG), frecuencia cardíaca (FC) y la saturación de oxígeno (O<sub>2</sub>). Se tomará la TA cada dos minutos durante la realización de la prueba. El paciente deberá correr

de manera constante sin interrupciones y manteniendo el ritmo medio de carrera dentro de los intervalos hasta el agotamiento.

Para la medición de los umbrales ventilatorios se tendrá en cuenta los datos que se encuentren por debajo del primer umbral de lactato (LT1), el volumen de CO<sub>2</sub> espirado (VCO<sub>2</sub>) y aumenta de forma lineal con el volumen de oxígeno O<sub>2</sub> inspirado (VO<sub>2</sub>). Conforme va aumentando la intensidad, la pendiente de esta relación va a incrementarse debido al aumento del VCO<sub>2</sub> cuya consecuencia se corresponde con el aumento del volumen ventilatorio (Ver Anexo 1).

Protocolo e indicaciones a tener en cuenta:

- La prueba deberá realizarse sin suplemento de oxígeno.
- En la semana de familiarización, el deportista deberá realizar una carrera suave en el tapiz rodante.
- No hablar durante la realización de la prueba.
- El ergómetro deberá estar calibrado cada día antes de la prueba.
- No tomar café o alcohol, ni fumar al menos unas 3 horas antes de la realización de la prueba.
- No realizará actividad física intensa unas 12 horas antes.
- Evitar mirar al tapiz mientras corre.

## **Yo-Yo Test IR2**

Es una prueba que cuantifica la capacidad de resistencia intermitente del deportista, así como la medición de la capacidad de recuperación ante esfuerzos intermitentes progresivos del atleta.

La prueba consiste en realizar carreras de 40 metros de distancia, contando la ida y la vuelta, incrementando la velocidad de manera continua, con una recuperación de 10 segundos de manera activa entre cada ejecución de las respectivas series, hasta llegar al agotamiento. Se marcarán las zonas para diferenciar las líneas de 20 metros y 5 metros de distancia, siendo la

línea de inicio y otras dos contrarias. Los deportistas deberán situarse en la línea de salida y comenzar a correr los 40 metros correspondientes, en un dispositivo se reproducirá los pitidos que marcará los ritmos de la prueba. En el periodo de recuperación entre las series el deportista deberá caminar o correr de manera suave dentro de las líneas de 5 metros, colocándose en el punto de inicio. La prueba se dará por finalizada cuando el deportista no llegue a completar dos intentos de llegada a meta en el tiempo estimado. La contabilización de la prueba será usando los datos de la distancia recorrida por los atletas (Chelly et al., 2011).

La prueba se compone de dos niveles de dificultad. En este caso, se usará el nivel 2, superando los niveles 16 y 17 donde la velocidad en la fase inicial llega a superar los 11 km/h.

La cuantificación de la intensidad del intervalo al que se van a someter los deportistas debe aproximarse al 90% - 95% del VO<sub>2</sub>max y con una acumulación total de unos 10 minutos de trabajo físico. Teniendo como indicador la frecuencia cardíaca máxima (FCmax). La apreciación que se tenga de esfuerzo-fatiga o la velocidad aeróbica máxima (VAM), favorecerá la comprensión de este factor. La recuperación será de manera activa, pudiendo así facilitar la eficiencia en los intervalos realizados en el ejercicio físico permitiendo mantener un mínimo de VO<sub>2</sub>max para conseguirlo. En cuanto a la duración del intervalo, será cuando el sujeto esté en condiciones de realizar su próxima serie a su velocidad aeróbica máxima, la estimación aproximada entre los 90 y 120 segundos. Para marcar el número de intervalos se tendrá en cuenta la periodización del entrenamiento, la condición física de los deportistas y la intensidad del ejercicio ya pautada previamente.

### **Análisis de sangre**

Todas las muestras se recolectarán de la punta del dedo de la mano, previo al ejercicio, el dedo se templará y se limpiará con un Mediswab, se descartará la primera gota de sangre y se recogerá la cantidad necesaria. La concentración de Hemoglobina se determinará colocando una gota de sangre en un dispositivo hemocue y colocándola en el lector de HemoCue. Se realizará el procedimiento durante los últimos 20 segundos de descanso entre

cada incremento, para determinar la concentración de lactato en sangre. Siendo la concentración de lactato en sangre de 4 mM. Para evaluar el Hematocrito se recolectará 0,1 ml en un tubo capilar de vidrio heparinizado. Al finalizar la prueba, se extrajeron la muestra y se evaluará en un lector Hawksley para determinar el volumen celular y plasmático.

Indicaciones a seguir:

- No consumir tabaco, alcohol o drogas que puedan alterar los resultados del análisis.

## **Intervención:**

### ***Calentamiento***

El calentamiento va a consistir en una parte general constituida por ejercicios de movilidad articular:

- Cat camel: Posición de cuadrupedia con las manos y las rodillas apoyadas en el suelo, se realiza una flexión y extensión de la zona lumbar, torácica y cervical junto con movimientos de retroversión y anteversión pélvica.
- Torácica.
- Decoaptación de la cadera: Separar las zonas articulares para generar una descompresión.
- Dorsiflexión del tobillo con una Kettlebell pesada: En posición de caballero, se sitúa una kettlebell encima de la rodilla, dando movilidad pasiva al rango de movimiento que permita el tobillo en su flexión.

Ejercicios de activación en la zona profunda del CORE:

- Bracing bilateral, seguido posteriormente de bracing unilateral con un empuje de una kettlebell en isométrico: Contracción isométrica voluntaria de la musculatura del oblicuo interno y externo y el recto anterior del abdomen. Empuje con las dos manos

a la rodilla, codos totalmente en extensión. De manera unilateral solo se hace fuerza con una mano.

Al terminar con la fase de movilidad y activación, el calentamiento seguirá con una carrera suave de 20 minutos.

### ***Método 1: Entrenamiento Interválico Hipóxico***

El IHT se llevará a cabo durante el periodo de 4 semanas. El entrenamiento se realizará en altitud Hipobárica simulada situada a 4000 metros. La frecuencia de entrenamiento será 90 minutos, 3 días a la semana, con exposiciones de hipoxia progresiva entre 5 y 7 minutos de duración seguidos con intervalos de recuperación. Consta de 10 repeticiones de ejercicio interválico con periodos de 5 minutos de ejercicio y 1 minuto de recuperación entre repeticiones. Intensidad constante a un 66% de la potencia máxima del deportista y entrenamientos interválicos al 85% de la potencia máxima.

El protocolo se repetirá de la misma manera durante las 4 semanas de la intervención.

### ***Método 2: Entrenamiento de Sprints Repetidos en Hipoxia***

El RSH se llevará a cabo durante el periodo de 4 semanas. El entrenamiento se realizará de manera simulada a < 3800 metros de altitud. La frecuencia del entrenamiento será de 3 días a la semana. Cada sesión constará de 3 series de 5 x 10 segundos, con periodos de 20 segundos y 5 minutos de recuperación entre repeticiones y series. Todas las sesiones constan de exposición hipóxica durante los entrenamientos.

El protocolo se repetirá de la misma manera durante las 4 semanas de la intervención.

### ***Método 3: Entrenamiento Híbrido Hipóxico***

El HHT se llevará a cabo durante el periodo de 4 semanas el entrenamiento. El entrenamiento se realizará de manera simulada a 4000 metros de altitud. La frecuencia del entrenamiento será de 3 días a la semana. Cada semana la altitud simulada se incrementará de manera progresiva desde los 4000 metros hasta los 5500 metros. Cada sesión constará de 3 series de 5 x 10 segundos, con periodos de 20 segundos y 5 minutos de recuperación entre repeticiones y series. Añadiendo de manera intermitente intensidades de un 66% de la potencia máxima del deportista y entrenamientos interválicos al 85% de la potencia máxima. Con exposiciones de hipoxia progresiva entre 5 y 7 minutos de duración seguidos con intervalos de recuperación.

El protocolo se repetirá de la misma manera durante las 4 semanas de la intervención.

### **Análisis Estadístico**

En primer lugar, se realizará un análisis descriptivo de todas las variables implicadas en el estudio, se utilizarán la media y la desviación típica para variables cuantitativas, y el número y el porcentaje para variables cualitativas. Se comprobará la normalidad de las variables principales del estudio a través de histogramas, gráficos Q-Q y mediante el test de Shapiro Wilk. Se realizará la comparación de los 3 grupos de entrenamiento al inicio de la investigación.

Por el diseño del estudio, y para cumplir con los objetivos del mismo, se utilizará el modelo ANOVA de medidas repetidas con 2 factores: un factor inter-sujetos (método de entrenamiento; IHT, RSH y HHT) y un factor intra-sujetos (el tiempo; PRETEST-POSTEST). Como variables dependientes se utilizarán las variables principales del estudio (VO<sub>2</sub> máx., los umbrales ventilatorios y los valores hematológicos). Se realizarán las comparaciones múltiples entre las medias de los efectos significativos (se evaluarán los efectos inter-sujetos e intra-sujetos), y se obtendrán los correspondientes gráficos de perfil. Se utilizará la prueba de Tukey para las comparaciones múltiples referidas a los efectos inter-sujetos, siempre que se verifique la homogeneidad de varianzas.

Se realizarán los análisis principales con el software Statistical Package for Social Sciences, SPSS Statistics (v.27.0, 9 de abril de 2019) para MAC. Se establecerá un nivel de significación de  $P < 0,05$  para todos los análisis estadísticos.

## **Conclusión**

Tras evaluar los efectos del modelo de entrenamiento híbrido hipóxico frente a los dos métodos tradicionales: entrenamiento intermitente y de sprints repetidos, se espera que los 3 métodos obtengan resultados positivos en los valores de rendimiento, aun así, según lo previsto el método híbrido debería obtener cambios significativos en los valores hematológicos como la hemoglobina, el hematocrito, plasma total, etc. Ya que con el ITH los valores son deficientes, con la combinación del RSH, se observa una creciente presencia de estos.

Los objetivos de los varios métodos hipóxicos son diversos y van más allá del aumento de la capacidad de transporte de O<sub>2</sub>, por ello, en el método híbrido pretende mejorar el VO<sub>2</sub>max frente a las ya existentes en los métodos tradicionales. Sin embargo, aunque se presenten valores similares en los beneficios de la recuperación de los atletas post sprints, se puede llegar a esperar que se obtenga un porcentaje mínimamente mayor de los que ya se presentan.

En las aplicaciones prácticas, el entrenamiento híbrido hipóxico llegaría a optimizar la eficacia de los entrenamientos ya que se estaría disminuyendo la frecuencia y la carga de entrenamiento, siendo un modelo interesante para mejorar el rendimiento de los atletas de manera eficiente que, realizando los dos modelos tradicionales por separado, siendo esto una limitación de la literatura científica ya discutida previamente, por ello, se intenta agilizar la búsqueda de esa optimización a través de este nuevo modelo.

## Referencias

- Avellanas Chavala, M. L. (2018). A journey between high altitude hypoxia and critical patient hypoxia: What can it teach us about compression and the management of critical disease? *Medicina Intensiva*, *42*(6), 380–390.  
<https://doi.org/10.1016/j.medin.2017.08.006>
- Bailey, D. M., & Davies, B. (2000). Physiological implications. *Sports Medicine*, 183–190.
- Baldwin, D. C. (2010). The ascent of Mt. Everest. *Journal of Allied Health*, *39* Suppl 1(SUPPL. 1), 194–195. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21174038/>
- Bassovitch, O. (2010). “Combining hypoxic methods for peak performance”: A biomedical engineering perspective. *Sports Medicine*, *40*(6), 519–521.  
<https://doi.org/10.2165/11535150-000000000-00000>
- Bejder, J., & Nordsborg, N. B. (2018). Specificity of “live High-Train Low” Altitude Training on Exercise Performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *46*(2), 129–136. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000144>
- Bernardi, L. (2001). Interval hypoxic training BT - Hypoxia: From Genes to the Bedside (R. C. Roach, P. D. Wagner, & P. H. Hackett (eds.); pp. 377–399). Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3401-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3401-0_25)
- Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2017). Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Sea-Level Performance: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *47*(8), 1651–1660. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0685-3>
- Hermassi, S., Aouadi, R., Khalifa, R., van den Tillaar, R., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2015). Relationships between the yo-yo intermittent recovery test and anaerobic performance tests in adolescent handball players. *Journal of human kinetics*, *45*, 197–205.  
<https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0020>
- Cooke, K., Galvin, H. M., Sumners, D. P., Mileva, K. N., & Bowtell, J. L. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *British Journal of Sports Medicine*, *47*(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092826>
- Durand, F., & Jornet, K. (2013). *Fisiología de los deportes de resistencia en la montaña*.  
Faiss, R., Girard, O., & Millet, G. P. (2013). Advancing hypoxic training in team sports: From intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British*

*Journal of Sports Medicine*, 47(SUPPL. 1), 2–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092741>

- Franck Brocherie, Olivier Girard, Raphaël Faiss, G. P. M. (2016). *Altitud y deportes de equipo: métodos tradicionales desafiados por un entrenamiento innovador y específico en hipoxia*.
- Gatterer, H., Menz, V., Salazar-Martinez, E., Sumbalova, Z., Garcia-Souza, L. F., Velika, B., Gnaiger, E., & Burtscher, M. (2018). Exercise performance, muscle oxygen extraction and blood cell mitochondrial respiration after repeated-sprint and sprint interval training in hypoxia: A pilot study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(3), 339–347.
- Green, H. J. (2000). Altitude acclimatization, training and performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(3), 299–312. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(00\)80039-0](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(00)80039-0)
- Heikura, I. A., Burke, L. M., Bergland, D., Uusitalo, A. L. T., Mero, A. A., & Stellingwerff, T. (2018). Impact of Energy Availability, Health, and Sex on Hemoglobin-Mass Responses Following Live-High-Train-High Altitude Training in Elite Female and Male Distance Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 1090–1096. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0547>
- Hinckson, E. A., Hopkins, W. G., Fleming, J. S., Edwards, T., Pfitzinger, P., & Hellemans, J. (2005). Sea-level performance in runners using altitude tents: A field study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(4), 451–457. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(05\)80061-1](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(05)80061-1)
- Imray, C., Wright, A., Subudhi, A., & Roach, R. (2010). Acute Mountain Sickness : Pathophysiology , Prevention , and Treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(6), 467–484. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2010.02.003>
- Maggiorini, M. (2001). *Mountaineering and altitude sickness*. 387–393.
- McLean, B. D., Gore, C. J., & Kemp, J. (2014). Application of “live low-train high” for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(9), 1275–1287. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0204-8>
- Monge Pérez, F. (2014). *Efectos de un entrenamiento interválico intensivo en hipoxia sobre el rendimiento y el metabolismo aeróbico*.

<http://dehesa.unex.es/xmlui/handle/10662/2013>

- Thomas, R. J., Tamisier, R., Boucher, J., Kotlar, Y., Vigneault, K., Weiss, J. W., & Gilmartin, G. (2007). Nocturnal hypoxia exposure with simulated altitude for 14 days does not significantly alter working memory or vigilance in humans. *Sleep*, *30*(9), 1195–1203. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.9.1195>
- West, J. B. (1993). Acclimatization and tolerance to extreme altitude. *Journal of Wilderness Medicine*, *4*(1), 17–26. <https://doi.org/10.1580/0953-9859-4.1.17>
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training Sports Medicine. *REVIEW ARTICLE Sports Medicine*, *31*(4), 249–265.

## Anexos

*Anexo 1. Comportamiento de la VE, la VCO2 Y EL VO2 durante una prueba de esfuerzo con aumento progresivo de la carga cada minuto.*

