

## **Trabajo Fin de Gado**

**Título:**

**Entrenamiento en hipoxia en deportistas de élite**

Alumno: Marta Alonso Aguña

Director: Lucía Cuéllar Marín

**Madrid, mayo de 2024**



# ÍNDICE

GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	5
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT .....	8
PRESENTACIÓN .....	9
AGRADECIMIENTOS .....	10
1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	11
1.1. INICIO, FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES.....	11
1.2. EL ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA.....	12
1.3. ETIOLOGÍA .....	13
1.4. FISIOLOGÍA.....	13
1.4.1. CLASIFICACIÓN DE HIPOXIA.....	13
1.4.2 RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LA HIPOXIA:.....	15
1.4.3. ERITROPOYETINA.....	16
1.4.4. HIF .....	17
1.4.5 VASCULAR ENDOTELIAL GROWTH FACTOR (VEGF).....	19
1.4.6. ANGIOGÉNESIS .....	21
1.4.7 MÁSCARA DE HIPOXIA.....	22
1.4.8 CÁMARA DE HIPOXIA.....	22
1.5. ANTECEDENTES.....	23
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	26
3.1. HIPÓTESIS: .....	26
3.2. PREGUNTA PICO.....	27
4. METODOLOGÍA .....	29
4.1. POBLACIÓN DIANA .....	29
4.2. CAPTACIÓN .....	29
4.2.1 REQUISITOS Y FACTORES A TENER EN CUENTA PARA LA CAPTACIÓN Y REALIZACIÓN DEL ESTUDIO .....	30
5. POSIBLES CAMBIOS PSICOLÓGICOS QUE SE PUEDEN PRODUCIR EN EL ESTUDIO DEL ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA Y NORMOXIA EN ATLETAS.....	32
6. VARIABLES.....	33
6.1. VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y DE BASE: .....	33
6.2. VARIABLES FISIOLÓGICAS Y DE RENDIMIENTO EN EL MOMENTO DE LA ELECCIÓN DE ATLETAS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE MISMO: .....	34

6.3. VARIABLES HEMATOLÓGICAS Y ERITROPOIÉTICAS:	34
6.4. VARIABLES DE COMPOSICIÓN CORPORAL:	35
6.5. VARIABLES PSICOLÓGICAS, A LA QUE LE DAREMOS UNA GRAN IMPORTANCIA EN ESTE ESTUDIO:	35
6.6. VARIABLES DE SEGUIMIENTO Y CUMPLIMIENTO:	35
7. PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE DATOS.	36
8. FASES DEL ESTUDIO:	38
9. ANÁLISIS DE DATOS	40
10. APECTOS ÉTICOS	41
11. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	42
11.1. Validez interna:	42
11.2. Validez externa:	42
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	48
12. CONSENTIMIENTO INFORMADO:	48
13. FICHA DE RECOGIDA DE DATOS	50

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ABREVIATURA/SIGLA	SIGNIFICADO
EPO	Eritropoyetina
J.J.O.O	Juegos olímpicos
TFG	Trabajo de fin de grado
HIF	Factor inducible por hipoxia (Hypoxia-inducible factor)
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
HC	Historia clínica
VEGF	Factor de Crecimiento Vascular Endotelial
CI	Consentimiento informado
RRSS	Redes Sociales
IMC	Índice de masa corporal
VS	Versus
BPM	Beats per minute
IMC	Índice de masa corporal
mmHg	Milímetros de mercurio
SPO2	Saturación de oxígeno periférico

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Eritropoyetina:** La eritropoyetina es una hormona producida principalmente en los riñones, aunque también a una mayor cantidad en el estómago. Es responsable de fomentar la producción de células rojas (eritrocitos) en la médula espinal. La función de las células rojas es fundamental para mantener la homeostasis de oxígeno en el cuerpo, ya que transportan oxígeno de los pulmones a los tejidos. [2]

**La angiogénesis:** es el proceso mediante el cual se forman nuevos vasos sanguíneos a partir de los que ya existen. Este fenómeno es fundamental para el desarrollo normal de tejidos, la cicatrización de heridas y la suministración de sangre a las áreas del cuerpo que lo requieren. La angiogénesis también participa en varios procesos fisiológicos y patológicos, como el crecimiento de tumores. [4,3]

**-Aerobio:** Aerobio hace referencia a organismos o procesos que requieren oxígeno para llevar a cabo sus funciones o metabolismo. En el contexto del ejercicio físico, el término aerobio se utiliza para describir actividades que implican la presencia de oxígeno, como correr o nadar a ritmo constante, donde el cuerpo puede suministrar oxígeno suficiente para satisfacer las demandas metabólicas. [5,6]

**-Anaerobio:** Por otro lado, anaerobio se refiere a organismos o procesos que pueden realizar sus funciones sin depender del oxígeno. En el ámbito del ejercicio, se utiliza para describir actividades intensas que se realizan sin suficiente suministro de oxígeno, como levantamiento de pesas o sprints cortos, donde el cuerpo no puede suministrar oxígeno de manera inmediata para satisfacer las necesidades metabólicas. [5,6]

**-Atrofia muscular:** es un proceso caracterizado por una disminución en el tamaño y la masa de los músculos debido a la pérdida de células musculares y/o la disminución en el tamaño de las células musculares específicas. La falta de uso o estimulación de músculos, lesiones, enfermedades neuromusculares, inmovilización prolongada, malnutrición y envejecimiento pueden ser causas de este fenómeno. [8,9]

## **RESUMEN**

**Introducción:** el entrenamiento en hipoxia es un tipo de entrenamiento que implica la realización de un tipo de ejercicio con bajos niveles de oxígeno. Comienza contextualizando la importancia de esta área de investigación en el ámbito deportivo y destaca la relevancia de la enfermería en el cuidado y la optimización del rendimiento de los atletas.

**Los objetivos** del estudio se centran en analizar los efectos del entrenamiento en hipoxia en diversos aspectos del rendimiento deportivo y en evaluar su aplicabilidad práctica en la enfermería deportiva.

**La metodología** empleada incluye la selección de una muestra representativa de deportistas de élite, la aplicación de un programa de entrenamiento en hipoxia y la realización de pruebas físicas, fisiológicas y psicológicas para evaluar los cambios en el rendimiento y la salud de los participantes. Se utilizan herramientas estadísticas y análisis específicos para interpretar los datos obtenidos de manera rigurosa.

Las **implicaciones para la práctica de la enfermería deportiva** sugieren que los profesionales de enfermería pueden desempeñar un papel crucial en la implementación y supervisión de programas de entrenamiento en hipoxia, así como en la atención integral de los atletas durante este proceso.

Palabras clave términos DeCS: *hipoxia; entrenamiento; hipoxia; hipoxia; ejercicio; músculo; hipertrofia; fuerza muscular; entrenamiento de resistencia*

## ABSTRACT

**Introduction:** Hypoxic training is a type of training involving the performance of exercises under low oxygen conditions. It begins by **contextualizing** the importance of this research area in the sports field and underscores the relevance of nursing in caring for and optimizing athletes performance. The **study's objectives** focus on analyzing the effects of hypoxic training on various aspects of athletic performance and assessing its practical applicability in sports nursing. **The methodology** employed includes selecting a representative sample of elite athletes, implementing a hypoxic training program, and conducting physical, physiological, and psychological tests to evaluate changes in participants performance and health. Statistical tools and specific analyses are used to interpret the data rigorously. Implications for sports nursing practice suggest that nursing professionals can play a crucial role in implementing and supervising hypoxic training programs, as well as providing comprehensive care for athletes during this process.

Palabras clave términos MeSH: *hypoxia; Hypoxia; exercise; muscle; hypertrophy; muscle strength; resistance training*

# PRESENTACIÓN

La hipoxia es una condición en la que hay una disminución en la disponibilidad de oxígeno para los tejidos del cuerpo. Esto puede deberse a una reducción en la cantidad de oxígeno en el aire que se respira o a dificultades en el suministro y utilización del oxígeno a nivel celular. La hipoxia puede afectar diferentes órganos y sistemas del cuerpo y puede variar en gravedad, desde casos leves y temporales hasta situaciones más graves que pueden tener consecuencias graves para la salud. Es un término utilizado en el contexto médico y fisiológico para describir la falta de oxígeno en los tejidos.

[7]

Este trabajo de investigación viene de mi pasión por la bioquímica. No siempre ha sido así, al comienzo de la carrera no fue mi asignatura favorita, ni mucho menos. De hecho, la suspendí, pero gracias a las profesoras (y a dar la asignatura dos años seguidos) empecé a comprenderla y, por ende, a amarla. Comprender los cambios bioquímicos a los que sometemos al cuerpo en diferentes actividades es, cuanto menos, impresionante. Esto hace que me suponga un reto, lo que me lleva al deseo de asumir un desafío académico significativo (al menos para mí) y a adentrarme en el ámbito de la investigación y la ciencia del deporte, ya que es algo que inexplorado para mí. Nunca hubiera podido imaginar en primera de carrera que acabaría haciendo un trabajo relacionado con la bioquímica, por lo que me llena de orgullo pensar en aquella alumna de que entró a la carrera sin saber nada sobre cómo funciona el cuerpo humano.

En cuanto al tema exacto se dio conversando con un amigo mío fisioterapeuta, donde hablamos del entrenamiento en hipoxia, lo cual me llamó la atención. Comencé a buscar artículos sobre ello y descubrí cosas fascinantes que, bajo mi punto de vista, podría resultar útil conocerlas, como por ejemplo el posible origen del entrenamiento en hipoxia y por qué se comenzó a estudiarlo. Cuando una enfermera asume la responsabilidad de brindar cuidados a un deportista de élite que se encuentra inmerso en un programa de entrenamiento en hipoxia, se deben tener en cuenta una serie de acciones fundamentales para mantener la seguridad y el bienestar del deportista. En primer lugar, la enfermera debe realizar una evaluación exhaustiva de la salud del deportista antes de comenzar el entrenamiento con hipoxia. Este proceso incluye pruebas de función pulmonar, análisis de sangre y una revisión exhaustiva del historial médico, que permite una comprensión completa de la condición física del deportista.

La coordinación eficaz con el equipo médico, los fisiólogos del ejercicio y otros profesionales de la salud se convierte en un componente esencial. Trabajar en estrecha colaboración permite una comprensión integral del plan de entrenamiento de hipoxia y la coordinación de cuidados específicos, garantizando una atención adaptada a las necesidades particulares del deportista.

## AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar mi trabajo de investigación, me gustaría agradecer a mis padres por llevarme hasta donde estoy hoy, porque sin ellos no sería la persona que soy y tampoco podría estar estudiando lo que me apasiona. Gracias a mis **abuelos** (mis segundos padres), por su esfuerzo, por los sacrificios que hicieron para que su familia saliera adelante, porque, aunque ya no estén, les he sentido más cerca que nunca durante estos cuatro años y gracias a ellos soy quien soy. Nada me gustaría más que el hecho de que estuvieran presentes y vieran cómo su nieta se gradúa. Aunque, de nuevo, siento que están presentes en cada paso que doy. Gracias a mi hermano por enseñarme “lecciones de hermano mayor” (aunque a veces parezca yo la mayor), por la promesa que hemos hecho este año de no discutir nunca y que, en caso de hacerlo, siempre lo solucionemos porque queremos envejecer siempre al lado del otro. Gracias a mi pareja por su inteligencia emocional, sus ganas de aprender y de escucharme siempre. Por su apoyo emocional y su comprensión en esos días duros de prácticas. Por ser mi confidente y mi mayor apoyo. A mis amigos y los compañeros de clase que se han convertido en familia. Y, cómo no, a los profesores, porque cada uno ha aportado un granito de arena y han forjado otro tipo de personalidad que desconocía. Llevo un poquito de cada profesor dentro de mi corazón de enfermera, y lo llevaré siempre conmigo.

# 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

## 1.1. INICIO, FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES

Este TFG está dirigido a la comprensión de los cambios que se producen en el cuerpo en el entrenamiento en hipoxia. Comienza haciendo una breve descripción del entrenamiento en hipoxia, para continuar hablando de los cambios fisiológicos que se producen y los posibles beneficios y/o problemas que se puedan presentar.

La recopilación de datos para la redacción y estructuración del TFG se llevó a cabo mediante la consulta de fuentes primarias como PubMed, Refworks, SciELO, la revista médica Sinergia, el repositorio documental de la universidad de Valladolid y la revista española de educación física y deportes. Para este TFG, se utilizaron los Descriptores en Ciencias de la Salud MeSH y DeCS así como operadores booleanos “and” y “or”.

TÉRMINOS DECS	TÉRMINOS MESH
Hipoxia + Entrenamiento (2)	Hypoxia + Training (6)
Hipoxia + Ciclismo (211)	Hypoxia + Cycling (211)
Hipoxia + Ejercicio (58)	Hypoxia + Exercise (58)
Hipoxia + Deporte (4584)	Hypoxia + Sport (4584)
Hipoxia + Ejercicio Deportivo (17)	Hypoxia + Sport Exercise (17)
Angiogénesis + Hipoxia (8)	Angiogeneis OR hypoxia (509)
Angiogénesis AND Hipoxia (59)	Angiogenesis AND Hypoxia (75)

## 1.2. EL ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA

El entrenamiento en hipoxia es un método de entrenamiento que implica realizar actividades físicas en condiciones de baja concentración de oxígeno en comparación con la altitud normal al nivel del mar. Este enfoque implicaría reducir la disponibilidad de oxígeno respirable con el supuesto propósito de mejorar la condición física de un deportista en preparación para una competencia deportiva. Se busca simular altitudes elevadas, donde la presión atmosférica es menor y, por lo tanto, hay menos oxígeno disponible. Este cambio puede deberse a la necesidad de que el cuerpo y el organismo se adapten fisiológicamente a esta condición particular. El objetivo principal de este tipo de entrenamiento sería estimular la producción natural de la hormona EPO en el organismo. Una vez liberada por los riñones, la EPO activaría la producción de hemoglobina y glóbulos rojos, lo que a su vez aumentaría la cantidad de oxígeno transportado en la sangre cada vez que se respira. [2,7,9]

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Entrenamiento en hipoxia	Método de entrenamiento que implica realizar actividades físicas en condiciones de baja concentración de oxígeno en comparación con la altitud normal al nivel del mar.
Objetivo	Mejorar la condición física de un deportista en preparación para una competencia deportiva, estimulando la producción natural de la hormona EPO en el organismo.
Mecanismo de acción	Reducción de la disponibilidad de oxígeno respirable, simulando altitudes elevadas donde la presión atmosférica es menor, lo que provoca una adaptación fisiológica en el cuerpo y el organismo.
Hormona EPO	La Eritropoyetina (EPO) es una hormona producida naturalmente por los riñones que estimula la producción de hemoglobina y glóbulos rojos en la médula ósea.
Función de la EPO	Aumentar la cantidad de oxígeno transportado en la sangre cada vez que se respira, lo que mejora la capacidad aeróbica y el rendimiento físico del deportista.
Referencias	[2] [7] [9]

**Tabla 1.** Elaboración propia a partir de referencias. “Tabla resumen”.

## **1.3. ETIOLOGÍA**

En lo que respecta al entrenamiento en hipoxia, la causa se basa en los cambios fisiológicos resultantes de la exposición ocasional y controlada a bajos contenidos de oxígeno. Estas adaptaciones son clave para aumentar el rendimiento y la capacidad del cuerpo en situaciones hipóxicas. El estímulo hipóxico podría ser una de las adaptaciones que deben darse para que se produzca esta respuesta. Un nivel reducido de oxígeno actúa como desencadenante de respuestas adaptativas en el cuerpo, como el HIF, que se analizará más adelante. [2,7]

Otro conjunto de respuestas en el cuerpo son las respuestas fisiológicas, y ocurren cuando el cuerpo responde al entrenamiento de hipoxia mejorando la producción de eritropoyetina, lo que resulta en un aumento en la cantidad de glóbulos rojos, así como un aumento en la densidad capilar, además de con cambios en la utilización del oxígeno y la eficiencia del transporte, entre otros [2,7,9]

Posteriormente, esto contribuiría a un cambio positivo en el rendimiento, ya que las adaptaciones fisiológicas del cuerpo abordarían específicamente las formas en que se puede mejorar el transporte y el consumo de oxígeno durante los ejercicios, lo que conduciría a un mejor rendimiento. Este aspecto es particularmente aplicable en el caso de deportes de resistencia donde la eficiencia en el uso de oxígeno juega un papel importante. [2,7,9,12]

## **1.4. FISIOLOGÍA**

La hipoxia se refiere a una condición en la cual los tejidos del cuerpo no reciben suficiente oxígeno. Puede ser causada por muchas razones, y su fisiología implica una serie de respuestas por las cuales el cuerpo intenta adaptarse a esos cambios que se han producido para tratar de compensar la falta de oxígeno. [1,13]

### **1.4.1. CLASIFICACIÓN DE HIPOXIA**

Se habla de:

- Hipoxia anémica, cuando la sangre no puede transportar suficiente oxígeno. Esto puede ser el resultado de una baja concentración de hemoglobina, lo que se conoce como anemia, o puede ser el resultado de alteraciones en la estructura de la hemoglobina que limitan su capacidad para unir y transportar oxígeno. [1,7]
- Hipoxia isquémica, que ocurre cuando el flujo sanguíneo hacia los tejidos disminuye, lo que reduce la entrega de oxígeno a diferentes zonas del cuerpo. Esta forma de hipoxia puede ser

causada por enfermedades como obstrucciones vasculares, infartos, trombosis u otras condiciones que dificultan la alimentación de sangre a los tejidos. [1,7]

- Hipoxia citotóxica, cuando las células no pueden usar el oxígeno disponible, aunque este se encuentre en cantidades adecuadas en el entorno. Esto podría ser el resultado de la presencia de sustancias tóxicas o inhibidores del metabolismo que afectan la capacidad de las células para realizar la respiración celular. [1,7]
- Hipoxemia, la cual indica una baja concentración de oxígeno en la sangre arterial. Es posible que esto se deba a problemas respiratorios como la falla de las vías respiratorias, problemas con el intercambio de gases en las vías respiratorias o niveles bajos de oxygen en el medio ambiente. [1,7]

Como anotación, cabe señalar que estas categorías de hipoxia no son mutuamente excluyentes y pueden estar interrelacionadas en algunas situaciones clínicas. Además, el tratamiento y las consecuencias de cada tipo de hipoxia pueden variar según la causa y la duración de la exposición a la falta de oxígeno. [1]

Tipos de hipoxia	Descripción
<b>Hipoxia anémica</b>	La sangre no puede transportar suficiente oxígeno debido a una baja concentración de hemoglobina (anemia) o alteraciones en la estructura de la hemoglobina.
<b>Hipoxia isquémica</b>	El flujo sanguíneo hacia los tejidos disminuye, reduciendo la entrega de oxígeno. Puede ser causada por obstrucciones vasculares, infartos, trombosis u otras condiciones que afectan la alimentación de sangre a los tejidos.
<b>Hipoxia citotóxica</b>	Las células no pueden utilizar el oxígeno disponible debido a la presencia de sustancias tóxicas o inhibidores del metabolismo que afectan la capacidad de las células para realizar la respiración celular.
<b>Hipoxemia</b>	Baja concentración de oxígeno en la sangre arterial debido a problemas respiratorios como la falla de las vías respiratorias, problemas con el intercambio de gases en las vías respiratorias o niveles bajos de oxígeno en el ambiente.

Referencias: [1,7]

**Tabla 2.** Elaboración propia a partir de referencias. “Tabla resumen de tipos de hipoxia”.

#### **1.4.2 RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LA HIPOXIA:**

La hipoxia provoca una serie de reacciones fisiológicas destinadas a contrarrestar la falta de oxígeno en los tejidos. Los cambios incluyen una **mayor velocidad respiratoria (taquipnea)**, lo que permite que el cuerpo absorba más oxígeno del aire. A la vez que esto sucede, se produce **taquicardia**, un aumento en el ritmo cardíaco, con el objetivo de mejorar el suministro de oxígeno a los tejidos a través de una circulación sanguínea más rápida. Lo que el corazón intenta es compensar la falta de oxígeno. La **vasodilatación** también ocurre en ciertos tejidos para optimizar el flujo sanguíneo y la entrega de oxígeno. La **eritropoyesis** se activa para aumentar la capacidad de transporte de oxígeno del hígado. También, las **células** pueden cambiar sus **preferencias metabólicas** en respuesta a la hipoxia, lo que favorece procesos que requieren menos oxígeno. [1,2]

En un contexto de exposición continua a la hipoxia, el cuerpo puede experimentar adaptaciones persistentes, como una mayor producción de eritropoyetina (EPO) y la aparición de lo que se conoce como angiogénesis. [8]

Sin embargo, la hipoxia también tiene efectos en órganos y sistemas. En casos graves, el sistema nervioso central puede experimentar cambios, que pueden manifestarse en cefalea, confusión e incluso pérdida de conciencia. Además, el corazón puede enfrentar problemas, como la posibilidad de hipertensión pulmonar y problemas cardíacos. El EPO fomenta la producción de células sanguíneas rojas en la matriz en los riñones. [8,12]

Existen enfermedades como la apnea del sueño, que se caracteriza por pausas breves en la respiración mientras se duerme, puede causar episodios de hipoxia. Además, otras enfermedades respiratorias prolongadas como la EPOC pueden provocar hipoxia prolongada, lo que empeora los problemas de transmisión de gases respiratorios. [1]

### **1.4.3. ERITROPOYETINA**

La EPO es una hormona vital que principalmente se produce en los riñones, pero también se sintetiza a un menor grado en el estómago. El principal objetivo es controlar el proceso conocido como eritropoyesis, que es esencial para mantener un equilibrio adecuado de oxígeno en el cuerpo. Los protagonistas de este proceso son las células sanguíneas rojas, también conocidas como eritrocitos, que desempeñan un papel crucial en el transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos del cuerpo y en el retorno de dióxido de carbono a los pulmones para su eliminación. La EPO juega un papel importante en este proceso biológico complejo al estimular las células madre presentes en la matriz. [1,8]

El ciclo de funcionamiento de la EPO comienza con la detección de niveles bajos de oxígeno en el plasma, un fenómeno que puede ocurrir en una gran variedad de situaciones, como la exposición a grandes altitudes, anemia, problemas respiratorios o enfermedades que afectan la capacidad del cuerpo para transportar oxígeno. En respuesta a esta detección, los riñones aumentan la producción y liberación de eritropoyetina en la sangre. Después, la eritropoyetina se dirige hacia la médula ósea, donde se relaciona con células madre hematopoyéticas. Bajo la influencia de esta hormona, estas células madre maduran para convertirse en glóbulos rojos. El proceso se conoce como eritropoyesis. La producción de glóbulos rojos aumenta, lo que mejora la capacidad del cuerpo para transportar oxígeno. [5,6,8,12]

El principal propósito de la EPO es mantener el equilibrio de oxígeno, pero también puede desempeñar un papel en otros procesos fisiológicos, como controlar la presión sanguínea. Además, en condiciones clínicas, se utiliza la EPO como tratamiento para la anemia relacionada con varias enfermedades, como la insuficiencia renal crónica. Esta estrategia terapéutica ayuda a restablecer la función sanguínea y mejorar la calidad de vida de los pacientes. [5,6,8,12]

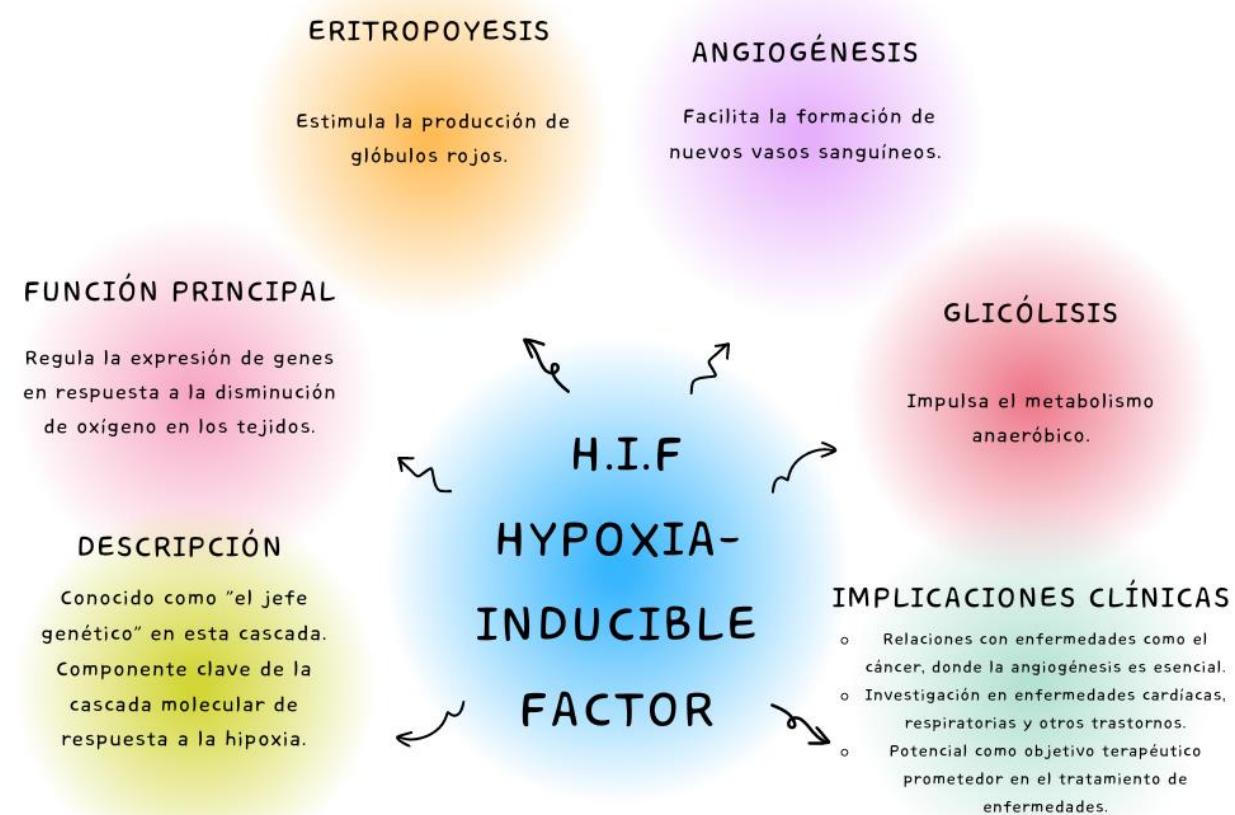


**Imagen 1.** Elaboración propia a partir de referencias [1,5,6,8,12]. “Imagen mapa conceptual la EPO”

#### 1.4.4. HIF

El factor que induce la hipoxia es un componente clave de lo que he denominado como cascada molecular ante las respuestas del organismo a la hipoxia; comienza entrando en acción para que el organismo se adapte a la disminución de los niveles de oxígeno en los tejidos. Este factor de transcripción, que regula la expresión de genes al interactuar con ciertas áreas del ADN, provoca una reacción molecular que revela su papel crucial en la supervivencia de las células. En su papel como “el jefe genético” en esta cascada, el HIF regula una variedad de genes con funciones importantes. Desde la angiogénesis, que facilita la creación de nuevos vasos sanguíneos hasta la eritropoyesis, que fomenta la producción de células sanguíneas rojas y la glicólisis, que impulsa el proceso de metabolismo anaeróbico. Estas modificaciones le dan a las células y a los tejidos las herramientas que necesitan para enfrentarse a condiciones donde hay una concentración pobre de oxígeno. [3,15,16,17]

Las implicaciones clínicas de la investigación sobre HIF son significativas. Se han investigado sus relaciones con enfermedades como el cáncer, en las que la angiogénesis es esencial para el crecimiento de tumores. La respuesta del cuerpo a la hipoxia en enfermedades cardíacas, enfermedades respiratorias y otros trastornos también ha sido objeto de investigación sobre el HIF. Este se destaca como un objetivo terapéutico prometedor debido a su papel destacado en la adaptación celular a la hipoxia. La forma en que regula su actividad permite que se pueda aplicar en el tratamiento de enfermedades. [3,15,16,17]

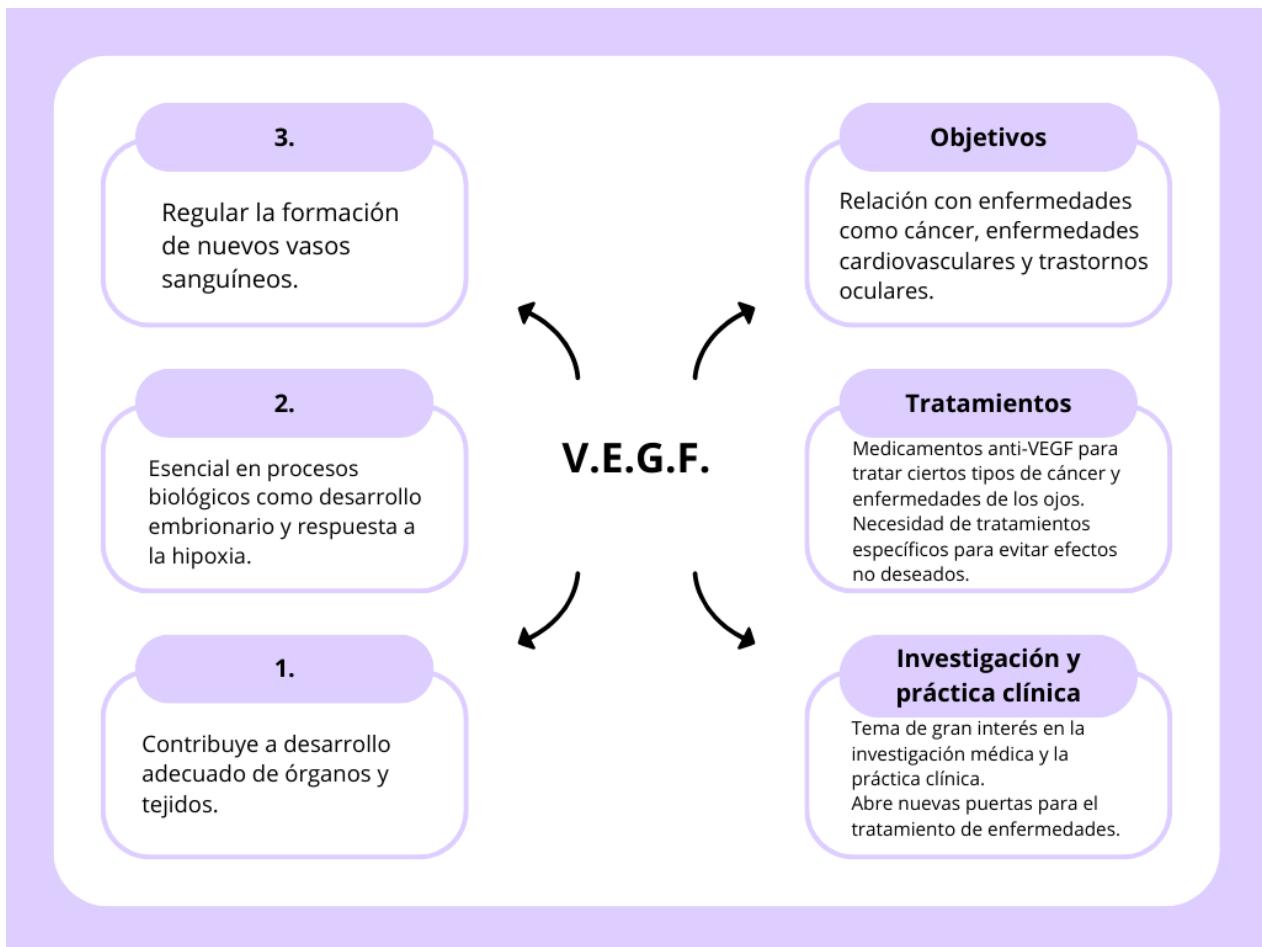


**Imagen 2.** Elaboración propia a partir de referencias [3,15,16,17]. “Imagen mapa conceptual H.I.F”

#### **1.4.5 VASCULAR ENDOTELIAL GROWTH FACTOR (VEGF)**

Una proteína clave en la regulación de la formación de nuevos vasos sanguíneos, también conocida como angiogénesis, es el Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF). Esta parte es esencial en varios procesos biológicos, desde el desarrollo embrionario hasta la respuesta del cuerpo a la falta de oxígeno, conocido como hipoxia. La capacidad de VEGF para estimular la angiogénesis es esencial para garantizar una cantidad adecuada de sangre y oxígeno para la creación o reparación de tejidos. En respuesta a condiciones hipóticas, la expresión del VEGF se eleva, lo que desencadena una serie de eventos que desembocan en la creación de nuevos vasos sanguíneos para mejorar la oxigenación de los tejidos afectados. El VEGF juega un papel importante en la formación y remodelación del sistema vascular durante el desarrollo embrionario, contribuyendo al desarrollo adecuado de órganos y tejidos. Sin embargo, la regulación anormal del VEGF está relacionada con varias enfermedades, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y los trastornos de los ojos, como la retinopatía diabética y la degeneración macular relacionada con la edad. [1,3,11]

Que este factor sea tan importante a la hora de que muchas enfermedades se vuelvan más agresivas ha llevado a la creación y desarrollo de tratamientos que buscan controlar su funcionamiento. Estos tratamientos han de ser muy específicos para evitar que este factor desencadene los procesos que sucedan después. Los medicamentos anti-VEGF, por ejemplo, se utilizan para tratar ciertos tipos de cáncer y enfermedades de los ojos para detener el crecimiento de vasos sanguíneos anormales. En definitiva, el VEGF es un regulador muy importante para el desarrollo y el mantenimiento de la homeostasis del sistema cardiovascular. Además, se ha convertido en un tema de gran interés en la investigación médica y la práctica clínica, abriendo nuevas puertas para el tratamiento de muchas enfermedades. [3,7,17,18]



**Imagen 3.** Elaboración propia a partir de referencias. [3,7,11,17,18] “Mapa conceptual del V.E.G.F”

#### **1.4.6. ANGIOGÉNESIS**

La angiogénesis, un proceso fundamental en la fisiología vascular, se despliega como respuesta adaptativa ante condiciones de hipoxia, donde la disponibilidad de oxígeno en los tejidos experimenta una disminución bastante marcada. Este fenómeno sucede como un mecanismo para mejorar el suministro de oxígeno y nutrientes a las células, haciendo que sucedan una serie de eventos clave que hacen ver su importancia en la respuesta celular. [1,3,11]

Ante la urgente demanda de oxígeno en situaciones de hipoxia, las células despliegan la angiogénesis como una solución impresionante. Este proceso implica el aumento de la densidad de vasos sanguíneos, generando una red vascular más elaborada que, a su vez, potencia el flujo sanguíneo, mejorando así la entrega de oxígeno a los tejidos afectados. [1,3,11]

La hipoxia desencadena una especie de cascada molecular, donde los factores de crecimiento emergen tras recibir esas señales. El siguiente paso de la cascada sería el HIF que sería el protagonista en este momento, ya que es el que regulará la angiogénesis. Bajo su influencia, se produce la activación de genes cruciales, iniciando así la formación de nuevos vasos sanguíneos que actúan como arterias revitalizadoras. [1,3,11]

Las células endoteliales que revisten los vasos sanguíneos son activadas y estimuladas por los factores de crecimiento que se producen en esta cascada. Estas células emprenden una tarea crucial al proliferar y moverse hacia la zona hipólica. Todo esto para que se produzca la creación de nuevos capilares y tejidos y, finalmente, para nutrir las células que lo necesitan. En esta cascada, se encuentra el VEGF, una molécula que responde a la llamada de la hipoxia. La estimulación del VEGF es la chispa que enciende la formación de nuevos vasos sanguíneos, actuando con precisión sobre las células endoteliales y otros elementos circundantes del tejido para proporcionar un entorno más oxigenado. Finalmente, la angiogénesis no solo es una respuesta inmediata, sino que también puede manifestarse como una adaptación a largo plazo en condiciones crónicas de hipoxia. En situaciones como enfermedades prolongadas o en altitudes elevadas, este proceso se transforma en una estrategia de supervivencia, estableciendo una red vascular más densa y elaborada para atender las necesidades más mantenidas de oxígeno en el tejido afectado. [3,4,7,11,15]

#### **1.4.7 MÁSCARA DE HIPOXIA**

La máscara de hipoxia es un dispositivo diseñado para imitar niveles de altitud elevados y disminuir la cantidad de oxígeno que pueda estar disponible en el aire para que sea respirado. Estas máscaras se usan principalmente en varios deportes, entrenamientos y en medicina. El objetivo es que se provoque una adaptación física en el cuerpo, se aumente la producción de células sanguíneas rojas y se mejore la eficiencia del sistema cardiovascular y respiratorio. Cuando el paciente/deportista lleva puesta una mascarilla de hipoxia durante el entrenamiento, lo que se produce es una imitación de lo que serían unas condiciones que solo pueden darse en un lugar elevado, como una montaña, donde las condiciones son de baja concentración de oxígeno. Esto provoca una respuesta adaptativa en el cuerpo, lo que daría lugar a los factores mencionados anteriormente, y a su vez, aumentaría la capacidad aeróbica y las habilidades deportivas. [1,19,20]

#### **1.4.8 CÁMARA DE HIPOXIA**

Una cámara de hipoxia es un dispositivo diseñado para crear un ambiente controlado con niveles reducidos de oxígeno, simulando condiciones de altitud elevada. Estas cámaras están equipadas con sistemas que permiten que se ajuste la concentración de oxígeno que puede ser respirado dentro de ellos, imitando altitudes más altas que las que podemos encontrar al nivel del mar. Estas cámaras se utilizan para varios propósitos. Uno de ellos y del que se habla en este TFG es en el campo de los deportes, donde son utilizadas para entrenar en altitudes elevadas simuladas donde el principal objetivo es provocar esa respuesta fisiológica del organismo que se ha mencionado antes y, por consiguiente, mejorar el rendimiento atlético, aumentar la producción de glóbulos rojos y que se produzcan mejoras cardiovasculares. También pueden ser utilizadas en la investigación médica para investigar los efectos de la hipoxia en el cuerpo humano y en terapias de rehabilitación para ciertas enfermedades. [1,19,20]

## **1.5. ANTECEDENTES**

Enfocarlo para el uso en el entorno deportivo pudo surgir como una estrategia de mejora de las capacidades aeróbicas de deportistas que compiten con un rendimiento alto. Su principal objetivo o propósito podría ser el de mejorar la fatiga, la recuperación del deportista, la sensación de cansancio, etc. En resumen, mejoraría la práctica deportiva, en deportes como el ciclismo, y mejoraría las características del deportista que lo practique. [5]

El desarrollo del término de la hipoxia podría haber surgido después de los J.J.O.O. de Ciudad de México, donde se observaría una clara desventaja del resto de participantes que venían de otros países. El por qué, podría deberse a la diferencia de alturas con respecto al nivel del mar. En Ciudad de México estaríamos hablando de una altura de 2.240m, por lo que los deportistas nativos de ese país podrían tener ventaja al no sufrir los cambios metabólicos de los que hablaré más adelante. [5,6]

Varios estudios han examinado los impactos del entrenamiento en condiciones de hipoxia, tanto en ambientes simulados como en altitudes reales, con el fin de evaluar su influencia en el rendimiento deportivo. Estos estudios han evaluado los posibles riesgos y beneficios asociados con esta práctica en seres humanos. A pesar del creciente interés, aún persisten incertidumbres y debates sobre el entrenamiento en hipoxia. La variabilidad en los resultados de las investigaciones y la necesidad de llevar a cabo estudios más rigurosos para establecer la eficacia y seguridad a largo plazo son aspectos que requieren una atención más detallada. [10,21,22,23]



## **2. JUSTIFICACIÓN**

La investigación sobre el entrenamiento en hipoxia se ha vuelto de gran relevancia en los campos del deporte y la fisiología del ejercicio debido a la utilización de este método por diversas celebridades del deporte y, también, a los posibles beneficios que puede aportar a la mejora del rendimiento y la salud. La hipoxia, o la exposición a bajos niveles de oxígeno, puede desencadenar respuestas fisiológicas únicas en el cuerpo, lo que ha generado un creciente interés en comprender cómo estas adaptaciones pueden ser aprovechadas de manera positiva en el ámbito del entrenamiento. [3,7]

Una de las razones fundamentales para investigar sobre el entrenamiento en hipoxia es su capacidad para estimular respuestas específicas que podrían potenciar el rendimiento atlético. La exposición controlada a condiciones hipóxicas durante el ejercicio puede desencadenar adaptaciones, como el aumento en la producción de glóbulos rojos y la mejora en la eficiencia del sistema cardiovascular, lo que, en teoría, podría llevar a un mejor transporte de oxígeno y, por ende, a una mayor resistencia y capacidad de recuperación. [9]

El interés en el entrenamiento en hipoxia no se limita únicamente al ámbito deportivo, ya que también se exploran sus posibles aplicaciones en la rehabilitación y en la mejora de la salud cardiovascular y la atrofia muscular. Investigar más a fondo los mecanismos subyacentes y los resultados de esta forma de entrenamiento podría abrir nuevas perspectivas para el diseño de programas de ejercicio personalizados y estrategias terapéuticas como un posible método para tratar enfermedades como el cáncer. [3,4,8,10,11]

Es muy importante que la enfermera que se encuentre a cargo de un paciente que utilice la hipoxia como tratamiento, o que trabaje con un deportista que entrene utilizando la hipoxia como método de entrenamiento, debe estar familiarizada con las especificaciones de salud de cada uno y, además con los métodos que se puedan llevar a cabo y sus posibles efectos adversos ya que, identificar y evaluar contraindicaciones o factores de riesgo médicos que podrían influir en la seguridad del entrenamiento en hipoxia es crucial. La enfermera debe estar al tanto de la HC del paciente o del atleta ya que, si tiene patologías previas, estas podrían agravarse con la exposición a la hipoxia. Debe conocer muy bien dichas patologías del paciente/atleta de manera individualizada y detectar si alguna de ellas podría ser crítica.

Una enfermera que trabaja con deportistas que practican el entrenamiento en hipoxia desempeña un papel crucial en garantizar la seguridad y el bienestar de los atletas, combinando conocimientos especializados con habilidades de evaluación y una actitud proactiva hacia la salud y la prevención. Por eso es tan importante que se dedique tiempo a la investigación de este método.

### **3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

**OBJETIVO GENERAL:** Analizar el comportamiento del entrenamiento con hipoxia en deportistas de élite.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Evaluar el impacto del entrenamiento con hipoxia en deportistas de élite en el rendimiento deportivo.
- Analizar las adaptaciones fisiológicas causadas por el entrenamiento con hipoxia en deportistas de élite.
- Investigar el impacto en la composición corporal y la masa muscular en el entrenamiento de deportistas de élite que entran en hipoxia.
- Investigar la influencia de los niveles de EPO y la hematología en deportistas de élite que entran en hipoxia.
- Observar las variaciones en la tolerancia a la fatiga.
- Explorar el impacto en los parámetros fisiológicos en reposo.

#### **3.1. HIPÓTESIS:**

Se postula que la participación de deportistas de élite en un programa de entrenamiento en hipoxia resultará en adaptaciones fisiológicas específicas que mejorarán su rendimiento deportivo. Se espera que estas adaptaciones incluyan un incremento en la capacidad aeróbica, cambios en la composición corporal, una mejora en la tolerancia a la fatiga y posibles modificaciones en los umbrales anaeróbicos. Además, se hipotetiza que estas respuestas positivas al entrenamiento en hipoxia serán más prominentes en comparación con un grupo de control que sigue un programa de entrenamiento en condiciones normoxias.

### **3.2. PREGUNTA PICO**

#### Población (P):

Atletas de élite, en este caso atletas corredores que participan en disciplinas de resistencia, cuyo impacto del estudio que es el entrenamiento en hipoxia, se comparará con el entrenamiento convencional, sin ser sometidos a hipoxia.

#### Intervención (I):

Se compara el rendimiento, las adaptaciones fisiológicas, la composición corporal y los niveles sanguíneos de deportistas de élite, atletas corredores, que participan en el proyecto en relación con aquellos que siguen un entrenamiento convencional, en normoxia.

#### Comparación (C):

Se observan las diferencias significativas en términos de rendimiento, adaptaciones fisiológicas, composición corporal y parámetros sanguíneos entre los atletas corredores que participan en el proyecto y aquellos que siguen un entrenamiento en normoxia.

#### Resultado (O):

Se observan las posibles mejoras sustanciales en el rendimiento deportivo, adaptaciones fisiológicas específicas, cambios en la composición corporal y alteraciones en los niveles sanguíneos, como respuesta al entrenamiento en hipoxia en comparación con el entrenamiento en normoxia en atletas corredores que realicen el estudio.



## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. POBLACIÓN DIANA**

Este proyecto de investigación está dirigido al estudio de los cambios que se producen en el cuerpo de un deportista que entrena utilizando el método de la hipoxia. En este caso, estará dirigido a un número concreto en un deporte en concreto. Se recogerán los datos de 50 atletas corredores. Hay carreras de diferentes distancias, como sprints (cortas distancias), carreras de media distancia o carreras de fondo. En este caso, los deportistas seleccionados serán atletas que realicen carreras de fondo, que no tengan ninguna patología previa y que, a efectos del estudio, sean iguales. La edad de estos podrá variar si cuando se seleccione a los atletas estos realicen las pruebas de la misma manera y sus analíticas sanguíneas tengan resultados similares.

Se les realizará una analítica sanguínea antes y después de una prueba de esfuerzo en una cinta con máscaras de hipoxia, simulando un entrenamiento en una altitud elevada y se observarán los resultados a lo largo del estudio, comparándolos al final de éste, cuya duración será de 12 meses.

Resumiendo, tendremos a un grupo de 50 atletas que entrenarán 4-5 días por semana durante 12 meses.

### **4.2. CAPTACIÓN**

La captación de un grupo de atletas corredores para la participación en un estudio sobre el entrenamiento en hipoxia, comparándolo con otro grupo que entrene en normoxia, requiere de una elección cuidadosa para garantizar la participación voluntaria, la comprensión de los riesgos y beneficios, así como la adherencia al estudio, siendo esta última muy importante para que se pueda realizar el estudio sin que falte nadie al final de este, a no ser que sea porque físicamente no pueda.

Han de ser personas acostumbradas a un entrenamiento prácticamente diario y con un buen fondo ya que deben de estar acostumbrados a realizar grandes esfuerzos porque, durante los meses que dure el estudio, deben permanecer en este.

Se realiza contacto con equipos y clubes de atletismo de Leganés. En este caso concreto, del club de atletismo Leganés, el club de Maratonianos de Leganés y el club de atletismo de Zarzaquemada.

Se presenta el estudio y sus beneficios. Para ello se colocan carteles informativos en eventos

deportivos locales, se distribuyen folletos explicativos en carreras y competiciones y se hace presencia en R.R.S.S. como Instagram, X, o Tik Tok, ya que son las más utilizadas en estos momentos. También se contacta con influencers deportivos, importante que sean locales, para aumentar la visibilidad.

Una vez se tenga seleccionado al grupo de 50 atletas, dividiremos la muestra en 25 personas que serán sometidas al entrenamiento en hipoxia y 25 que entrenarán en normoxia.

#### **4.2.1 REQUISITOS Y FACTORES A TENER EN CUENTA PARA LA CAPTACIÓN Y REALIZACIÓN DEL ESTUDIO**

Realizar un estudio sobre atletas corredores entrenando en hipoxia requiere una cuidadosa planificación y consideración de diversos aspectos. Aquí se presentan algunos requisitos clave para tener en cuenta:

- **Ética y aprobación del estudio:**

Comité Ético: Obtener la aprobación de un comité ético de investigación antes de llevar a cabo el estudio además de asegurar que el diseño del estudio y los procedimientos cumplan con estándares éticos.

- **Selección de participantes. Definir bien los criterios de Inclusión:**

Definir claramente los criterios de inclusión, como nivel de condición física, experiencia en carrera, salud general, etc. Y asegurar que los participantes sean atletas corredores adecuados para el estudio.

- **Consentimiento informado (CI):**

Obtener el consentimiento informado por escrito de cada participante antes de su inclusión en el estudio. Proporcionar información clara sobre los objetivos, riesgos y beneficios del estudio. No se realizará el estudio a ningún participante que no haya firmado el CI antes de presentarse.

- **Monitorización continua (muy importante para la enfermera que lo realice).**

Implementar sistemas de monitorización continua para medir parámetros fisiológicos, como frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y presión arterial.

- **Diseño del protocolo de entrenamiento:**

Desarrollar un plan de entrenamiento específico para atletas corredores que incluya sesiones en hipoxia y normoxia. Definir la duración, intensidad y frecuencia de las sesiones. Establecer una secuencia clara de sesiones de entrenamiento en hipoxia y normoxia. Considerar la progresión gradual para evitar riesgos de salud.

- **Evaluación continua de la salud:**

Exigir exámenes médicos previos para garantizar la salud general de los participantes y descartar condiciones médicas que puedan contraindicar la participación en el estudio.

- **Diarios de entrenamiento:**

Solicitar a los participantes que mantengan diarios de entrenamiento para documentar sus sesiones y sensaciones. Facilitar el seguimiento de la progresión individual con hojas plantilla que se entreguen al inicio de este estudio donde documenten todo, incluidas todas las sesiones de los entrenamientos en hipoxia que se realicen donde se incluya la altitud simulada, duración e intensidad.

- **Seguridad y protocolos de emergencia:**

Se garantizará la presencia de personal de enfermería capacitado para supervisar las sesiones de entrenamiento y se establecerán protocolos claros para abordar emergencias médicas.

- **Comunicación y retroalimentación:**

Se debe mantener una comunicación regular con los participantes para abordar cualquier inquietud o pregunta. A su vez, los participantes deben proporcionar retroalimentación sobre el progreso individual y colectivo.

## **5. POSIBLES CAMBIOS PSICOLÓGICOS QUE SE PUEDEN PRODUCIR EN EL ESTUDIO DEL ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA Y NORMOXIA EN ATLETAS.**

La participación en un estudio de 12 meses que involucra hipoxia versus normoxia puede tener un impacto significativo en la salud mental de los atletas. Muchos aspectos psicológicos pueden verse afectados.

Para empezar, las expectativas y la motivación son fundamentales. La novedad de la investigación y la posibilidad de mejorar pueden motivar positivamente a los atletas y darles un sentimiento positivo de exclusividad. Sin embargo, algunos pueden experimentar estrés debido a las expectativas creadas, lo que puede generar miedo y expectativas irrealistas. Además, conseguir adaptarse a un nuevo entorno puede generar una sensación de logro positivo y resiliencia. Sin embargo, al enfrentarse a un cambio en su entorno habitual de entrenamiento, algunos atletas pueden sentirse incómodos o ansiosos. Cambios en los horarios, dedicación a la educación y el hecho de que ocasionalmente no pueden realizar una actividad de su agrado porque tengan que entrenar puede afectarles psicológicamente de manera significativa. La competitividad y las comparaciones sociales entre grupos pueden tener efectos diversos. Aunque la competencia amigable puede aumentar la motivación, la comparación constante con otros grupos puede generar miedo y afectar la autoestima. Con mejoras en el rendimiento, la tensión y la ansiedad por la prestación pueden disminuir, pero la presión de tener éxito en la investigación puede causar estrés psicológico y tener un impacto en el rendimiento. [24,25,26,27,28,29,30]

La sensación de pertenencia a un grupo, en este caso del estudio y del equipo de investigación, puede mejorar la experiencia, pero la desconfianza o la falta de comprensión del estudio podrían afectar la participación y la cooperación, por eso se debe informar de cada detalle a los participantes. La respuesta a las evaluaciones intermedias y finales puede motivar con resultados positivos, pero los resultados imprevistos pueden desmotivar y generar miedo, por lo que los resultados individuales no deben tener importancia y se debe hacer una generalización sobre la salud mental de los participantes. Finalmente, el impacto en la auto imagen del atleta puede ser positivo con mejoras en su desempeño, pero la falta de mejoras o comparación con otros grupos puede afectar su autoestima. Es muy importante observar indicios de desórdenes alimenticios y más importante saberlo antes de realizar el estudio. El equipo de enfermería que participe debe proporcionar asesoramiento en dietas y acompañar a los deportistas durante el proceso. [24,25,26,27,28,29,30]

Al ser un estudio donde se trabaja con un equipo multidisciplinar, se debe contar con psicólogos deportivos, dietistas y nutricionistas durante todo el estudio. Es muy importante tener en cuenta estas situaciones psicológicas y proporcionar un sólido apoyo psicológico y emocional a lo largo del estudio. La comunicación abierta, la retroalimentación positiva y el reconocimiento del esfuerzo contribuirán a minimizar los posibles impactos negativos en la salud mental de los participantes.

## 6. VARIABLES

En un estudio de 12 meses con 50 atletas corredores, donde se dividen en dos grupos (25 en entrenamiento en hipoxia y 25 en entrenamiento en normoxia), es muy importante medir múltiples variables para evaluar el impacto del entrenamiento en hipoxia en comparación con el entrenamiento en normoxia:

### 6.1. VARIABLES DEMOGRÁFICAS Y DE BASE:

- 1. Edad:** Variable demográfica para tener en cuenta la distribución de edades en ambos grupos. Se escogerán a los atletas con edades comprendidas entre 20 y 30 años, con capacidades similares, que lleven un mínimo de entre 5 y 7 años realizando este deporte, siendo óptima la práctica de éste desde la infancia.
- 2. Género:** Variable demográfica para asegurar una distribución equitativa entre ambos grupos.
- 3. Índice de Masa Corporal (IMC):** Peso y altura para calcular el IMC y evaluar la composición corporal.

## **6.2. VARIABLES FISIOLÓGICAS Y DE RENDIMIENTO EN EL MOMENTO DE LA ELECCIÓN DE ATLETAS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE MISMO:**

- 4. Capacidad aeróbica (VO<sub>2</sub> máx):** Medición de la capacidad aeróbica para evaluar el rendimiento cardiovascular y pulmonar. Puede variar entre los sujetos del estudio, ya que es imposible que sea en todos igual, pero se elegirá a los atletas con las capacidades aeróbicas más igualadas.
- 5. Umbral anaeróbico:** Donde se determina el punto en el cual el cuerpo pasa de la producción de energía aeróbica a anaeróbica.
- 6. Frecuencia cardíaca en reposo y de ejercicio:** Se mide la frecuencia cardíaca en reposo y durante el ejercicio para evaluar el esfuerzo cardiovascular.
- 7. Saturación de oxígeno (SpO<sub>2</sub>):** Medición de la saturación de oxígeno en la sangre para evaluar la eficiencia de oxigenación.
- 8. Consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>):** Se mide el oxígeno consumido durante el ejercicio para evaluar la capacidad aeróbica del atleta.
- 9. Medición de niveles de lactato** para evaluar la respuesta fisiológica del cuerpo a la actividad anaeróbica.
- 10. Tiempo para la fatiga:** el tiempo que los atletas pueden mantener su máximo esfuerzo antes de agotarse.

## **6.3. VARIABLES HEMATOLÓGICAS Y ERITROPOIÉTICAS:**

- 11. Concentración de hemoglobina:** se miden las concentraciones de hemoglobina para evaluar la capacidad de transportar oxígeno.
- 12. Hematocrito:** Proporción de células rojas en la sangre en relación con el plasma.
- 12. Recuento de glóbulos rojos y blancos:** Medición de los glóbulos rojos y blancos para evaluar cambios en la respuesta eritropoyética.

## **6.4. VARIABLES DE COMPOSICIÓN CORPORAL:**

- 13. Masa muscular:** Evaluación de la masa muscular antes y después de la realización del estudio.
- 14. Grasa corporal:** Medición de la masa grasa corporal para evaluar cambios en la composición corporal.

## **6.5. VARIABLES PSICOLÓGICAS, A LA QUE LE DAREMOS UNA GRAN IMPORTANCIA EN ESTE ESTUDIO:**

- Todo atleta que se presente al estudio podrá abandonarlo en caso de que psicológicamente no pueda continuar. Serán informados antes de los cambios psicológicos que se puedan producir durante el estudio.

**15. Percepciones corporales de uno mismo:** Evaluación de la percepción subjetiva del sujeto durante el ejercicio. Los cambios que se producen pueden afectar a la imagen corporal del sujeto y es importante evaluar cómo se pueda sentir con respecto a eso antes, durante y después de realizar el estudio.

**16. Motivación y compromiso:** Evaluación de la motivación y el compromiso de los atletas con el programa de entrenamiento.

## **6.6. VARIABLES DE SEGUIMIENTO Y CUMPLIMIENTO:**

**17. Asistencia a sesiones de entrenamiento en normoxia:** Registro de la asistencia a las sesiones de entrenamiento para evaluar el cumplimiento y para asegurar que todos cumplen los horarios y dichas sesiones.

**18. Registro de sesiones del entrenamiento en hipoxia:** Documentación detallada de las sesiones de entrenamiento en hipoxia, incluyendo altitud simulada, duración e intensidad.

Estas variables proporcionan un conjunto integral de medidas que permitirán evaluar los efectos del entrenamiento en hipoxia en comparación con el entrenamiento en normoxia en atletas corredores a lo largo de un periodo de 12 meses. Es crucial adaptar estas variables según los objetivos específicos del estudio y las características de la población de atletas.

## **7. PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE DATOS.**

El procedimiento de recogida de datos para un estudio de 12 meses que involucra entrenamiento en hipoxia versus normoxia en atletas corredores debe ser meticuloso y, a la vez, centrarse en aspectos psicológicos para proteger la salud mental de los atletas. Aquí se presenta una serie de procedimientos para la recopilación de dichos datos:

### **1. Entrevistas iniciales:**

Realizar entrevistas individuales con cada atleta al inicio del estudio para entender sus expectativas, motivaciones y niveles de ansiedad percibida. Registrar sus percepciones sobre la novedad del estudio y cómo creen que pueda afectar su rendimiento.

### **2. Cuestionarios:**

Administrar cuestionarios validados que evalúen también variables psicológicas relevantes, como la motivación, la ansiedad competitiva y la percepción del esfuerzo. Estos cuestionarios se aplicarán en momentos clave del estudio para capturar cambios a lo largo del tiempo, como, por ejemplo, antes de realizar el estudio, al primer mes, a los 3, 6, 9 meses y finalmente al finalizar el estudio. Los cuestionarios serán los mismos para comprobar los cambios que se produzcan.

### **3. Registro de sesiones de entrenamiento:**

Mantener un registro detallado de cada sesión de entrenamiento, especificando si fue en hipoxia o normoxia. Incluir la duración de las sesiones, la intensidad del ejercicio y cualquier observación relevante sobre la participación y actitud de los atletas.

### **4. Diarios de entrenamiento:**

Proporcionar a los atletas la oportunidad de mantener diarios de entrenamiento donde puedan registrar sus experiencias subjetivas, emociones y percepciones sobre el estudio. Esto puede ayudar a obtener información más detallada sobre su psicología a lo largo del tiempo.

### **5. Feedback regular:**

Establecer sesiones regulares de feedback con los atletas para discutir su progreso, abordar inquietudes y obtener información sobre su percepción general del estudio. Fomentar la comunicación abierta para identificar posibles problemas psicológicos.

**6. Cuestionarios de satisfacción:**

Al finalizar el estudio, administrar cuestionarios de satisfacción para evaluar la percepción general del estudio, la satisfacción personal, y recopilar comentarios sobre el impacto psicológico percibido.

**7. Entrevistas individuales**, que se realizarán al final del estudio para ver y comprender de una manera más profunda cómo la experiencia ha podido influir en la autoimagen, la motivación y la percepción del esfuerzo de los atletas.

**8. Análisis de datos**: donde se realiza hará un análisis detallado de todos los datos que se hayan ido recopilando para identificar patrones significativos y cambios en las variables psicológicas durante el estudio.

## **8. FASES DEL ESTUDIO:**

Se realizará un estudio comparativo transversal. Un estudio descriptivo comparativo transversal constituye un diseño de investigación que busca describir y comparar características específicas en diversos grupos simultáneamente y en un único momento en el tiempo. En este tipo de estudio, el enfoque descriptivo tiene como objetivo proporcionar una imagen detallada de fenómenos o comportamientos en una población sin manipulación de variables ni establecimiento de relaciones causales. La componente comparativa implica analizar similitudes y diferencias entre dos o más grupos o categorías, destacando patrones distintivos. La palabra "transversal" señala que la recopilación de datos se realiza en un solo instante, capturando una instantánea de la situación en ese momento específico. Este diseño es útil para explorar variaciones y similitudes en diversas variables entre diferentes grupos, sin seguir su evolución a lo largo del tiempo ni establecer conexiones causales entre las variables estudiadas.

El estudio de este TFG que compara entrenamiento en hipoxia versus normoxia en 12 meses puede dividirse en varias fases para facilitar la planificación, ejecución y análisis de los resultados:

### Fase 1: Preparación y diseño del estudio (meses previos al estudio).

- Definición de objetivos
- Selección de participantes (meses previos al estudio).
  - Identificar y seleccionar a los 50 atletas corredores que cumplen con los criterios de inclusión del estudio.
- Evaluación inicial (meses previos al estudio).
  - Realizar evaluaciones médicas y físicas iniciales para establecer la línea base de salud y rendimiento de los participantes.
- Diseño de protocolos de entrenamiento (meses previos al estudio).
  - Desarrollar protocolos detallados para el entrenamiento en hipoxia y normoxia, especificando la intensidad, duración y frecuencia de las sesiones.

## Fase 2: Implementación del entrenamiento (meses 1-12)

- Supervisión Continua:
  - Monitorear y registrar regularmente el progreso de los atletas, ajustando los protocolos según sea necesario.
- Evaluaciones intermedias:
  - Realizar evaluaciones intermedias periódicas para medir el rendimiento, cambios fisiológicos y aspectos psicológicos.

## Fase 3: Evaluación final y recolección de los datos de todos los meses (mes 12).

- Evaluación final:
  - Realizar evaluaciones finales, incluyendo mediciones físicas, pruebas de rendimiento y cuestionarios psicológicos.
- Cierre de sesiones de entrenamiento.
- Realizar entrevistas individuales para obtener información cualitativa sobre la experiencia de los participantes.

## Fase 4: Análisis de datos y resultados (mes 12)

- Recolección y codificación de datos.
- Análisis Estadístico.
- Presentación de resultados.

## Fase 5: Conclusiones y publicación (meses posteriores)

## **9. ANÁLISIS DE DATOS**

En este estudio sobre el entrenamiento en hipoxia en atletas corredores de élite con un grupo experimental de 25 personas en hipoxia y un grupo control de 25 personas, se podría emplear tanto estadística descriptiva como pruebas de asociación entre variables.

Se recopilan datos sobre el rendimiento deportivo de los participantes antes y después del entrenamiento en hipoxia. Se busca determinar si hay una asociación entre el grupo de entrenamiento y el cambio en el rendimiento deportivo.

### **1. Estadística descriptiva:**

- Se calcula la media y la desviación estándar del rendimiento deportivo para el grupo de hipoxia y el grupo control, tanto antes como después del entrenamiento.

### **2. Prueba t de Student:**

- Se realiza una prueba t de Student para comparar las diferencias en el rendimiento deportivo antes y después del entrenamiento entre el grupo de hipoxia y el grupo control.
- Se calcula el valor p para determinar si estas diferencias son estadísticamente significativas.

### **3. Interpretación:**

- Si se encuentra que el cambio en el rendimiento deportivo es significativamente mayor en el grupo de hipoxia en comparación con el grupo control (valor  $p < 0.05$ ), podemos concluir que el entrenamiento en hipoxia tiene un efecto positivo en el rendimiento deportivo de los atletas corredores de élite.

## 10. APECTOS ÉTICOS

1. Revisión por un Comité de Ética: Es recomendable que el estudio sea revisado y aprobado por un Consejo o Comité de Ética, especialmente cuando involucra la participación de seres humanos. Este comité evaluará el protocolo de investigación para garantizar que se cumplan los estándares éticos y se minimicen los riesgos para los participantes.

2. Consentimiento informado: Los atletas destacados deben dar su consentimiento informado de manera voluntaria y deliberada antes de participar en la investigación. El protocolo de investigación debe describir detalladamente el proceso para obtener este consentimiento. Esto puede incluir proporcionar información clara y comprensible sobre los objetivos del estudio, los procedimientos involucrados, los posibles peligros y ventajas, así como la libertad de retirarse sin consecuencias negativas.

3. Identificación y manejo de riesgos potenciales: Es muy importante identificar y explicar todos los riesgos, reales y potenciales, que estén asociados a la participación en el estudio, como los efectos secundarios que se puedan producir por la hipoxia o la posible incomodidad que sientan durante los exámenes realizados. También se deben tomar medidas para reducir estos peligros y garantizar la seguridad de los participantes durante el estudio. Es de vital importancia que los participantes conozcan hasta el más mínimo riesgo que puedan sufrir.

4. Confidencialidad y anonimato: se debe garantizar que los datos personales de todos y cada uno de los participantes se mantengan en absoluto secreto y que se respete su anonimato en todo momento.

## 11. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En este estudio sobre el entrenamiento en hipoxia en deportistas de élite, es importante identificar y describir los aspectos que puedan hacer que este no salga como se espera, los aspectos más débiles del diseño del estudio en cuanto a su validez interna y externa.

### 11.1. Validez interna:

- Sesgo de selección: se puede producir si la muestra no es representativa de la población a la que se dirige el estudio o si hay diferencias importantes entre el grupo de tratamiento (entrenamiento en hipoxia) y el grupo de control (entrenamiento con niveles de oxígeno normales) que puedan influir en los resultados, podría haber un sesgo de selección que afecte la validez interna del estudio.
- Controles de variables extrañas: Si no se controlan las variables extrañas de forma correcta estas podrían influir en los resultados del estudio (como el tipo de deporte practicado, la experiencia previa en entrenamiento en hipoxia, etc.) la validez del estudio podría no ser correcta.
- Proceso de asignación: Si el proceso en el que se asignan a los participantes a los grupos de tratamiento y control no es correcto o no está adecuadamente controlado, podría haber sesgos que afectarían al estudio.

### 11.2. Validez externa:

- Generalización de resultados: Si los resultados del estudio no pueden aplicarse a otros atletas que no participaron en el estudio porque la muestra tenga limitaciones de algún tipo o porque el diseño del estudio no esté bien realizado, la validez externa puede verse afectada.
- Entorno de estudio: Si el estudio se llevó a cabo en un entorno que haya podido ser más controlado o artificial y que realmente no refleja las condiciones en las que entran y compiten los deportistas, donde se espera que compitan o donde se está tratando de imitar, su validez externa podría no ser adecuada.
- Duración de la revisión: Si la revisión de los participantes es demasiado breve y no se evalúan los efectos que pueda producir la hipoxia sobre la capacidad física del deportista, la validez externa de la investigación podría verse afectada.

Identificar y discutir estos posibles aspectos débiles del diseño del estudio en cuanto a su validez interna y externa es muy importante para proporcionar una evaluación completa y fiable del trabajo de investigación. Esto permite una comprensión más clara de las limitaciones del estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

[1]

España D, Espana ID, Rodríguez NI, Aróstegui LJ, Collado NG, López AR, et al. Real Academia Nacional de Medicina. Vida y obra de Luis Sánchez Granjel [Internet]. 2018

[2]

Schurr A. How the “Aerobic/Anaerobic Glycolysis” Meme Formed a “Habit of Mind” Which Impedes Progress in the Field of Brain Energy Metabolism 2024;25:1433. doi: 10.3390/ijms25031433. <https://doi.org/10.3390/ijms25031433>.

[3]

Zhang R, Miao Z, Liu Y, Zhang X, Yang Q. A positive feedback loop between miR-574-3p and HIF-1alpha in promoting angiogenesis under hypoxia 2023;150:104589. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2023.104589>.

[4]

Khan MI, Karima G, Khan MZ, Shin JH, Kim JD. Therapeutic Effects of Saponins for the Prevention and Treatment of Cancer by Ameliorating Inflammation and Angiogenesis and Inducing Antioxidant and Apoptotic Effects in Human Cells 2022;23:10665. doi: 10.3390/ijms231810665. <https://doi.org/10.3390/ijms231810665>.

[5]

Hansen C, Brocherie F, Millet GP, Girard O. Effects of Hypoxia Severity on Muscle Oxygenation Kinetics Using Statistical Parametric Mapping During Repeated Treadmill Sprints 2024:1–5. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2023-0324>.

[6]

Fernandez-Lazaro D, Diaz J, Caballero A, Cordova A. The training of strength-resistance in hypoxia: effect on muscle hypertrophy 2019;39:212–20. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i1.4084>.

[7]

Georgescu SR, Tocut SM, Matei C, Ene CD, Nicolae I, Tampa M. A Panel of Potential Serum Markers Related to Angiogenesis, Antioxidant Defense and Hypoxia for Differentiating Cutaneous Squamous Cell Carcinomas from Actinic Keratoses 2024;14:103. doi: 10.3390/jpm14010103. <https://doi.org/10.3390/jpm14010103>.

[8]

Rekola M, Korhonen K, Unkila-Kallio L, Alfthan H, Stefanovic V, Tiitinen A, et al. Serum erythropoietin level is increased during stimulation for IVF but not in OHSS 2024;22:14-023-01178-3. <https://doi.org/10.1186/s12958-023-01178-3>.

[9]

Prabhu P, Rajan MS, Karthick A, Venkatesh R. Performance evaluation and chemical oxygen demand removal of tannery wastewater through the aerobic-anaerobic route 2024;196:352-024-12518–0. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12518-0>.

[10]

Fu P, Zhu R, Gao W, Gong L. Effects of resistance training on alleviating hypoxia-induced muscle atrophy: Focus on acetylation of FoxO1 2023. <https://doi.org/10.1111/jcmm.18096>.

[11]

Vitali HE, Kuschel B, Sherpa C, Jones BW, Jacob N, Madiha SA, et al. Hypoxia regulate developmental coronary angiogenesis potentially through VEGFR2- and SOX17-mediated signaling 2023. <https://doi.org/10.1101/2023.08.16.553531>.

[12]

Cordova Martinez A, Pascual Fernandez J, Fernandez Lazaro D, Alvarez Mon M. Muscular and heart adaptations of exercise in hypoxia. Is training in slow hypoxia healthy? 2017;148:469–74. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2017.02.013>.

[13]

Díaz López J. Entrenamiento en hipoxia y rendimiento muscular. Universidad de Valladolid; 2017.

[14]

Mondragón Bustos J. Hipoxia y Cianosis. Rev.méd.sinerg. [Internet]. 2 de septiembre de 2016;1(9):9-12.

[15]

Richarz NA, Boada A, Carrascosa JM. Angiogenesis in Dermatology - Insights of Molecular Mechanisms and Latest Developments 2017;108:515–23.

[16]

He G, Liu X. Hypoxia inducible factor-1alpha (HIF-1alpha) as a factor to predict prognosis of spinal chordoma 2024.

[17]

Shahid H, Morya VK, Oh J-U, Kim J-H, Noh K-C. Hypoxia-Inducible Factor and Oxidative Stress in Tendon Degeneration: A Molecular Perspective 2024;13:86.

[18]

Acuna P, Ellwanger A, Ramirez A, Cardemil F, Vega J, Casalino R, et al. Vascular endothelial growth factor in malignant and non malignant prostatic tissue: Association with tumor recurrence at one year after prostatectomy 2013;141:153–9.

[19]

Fitness, Lady. ¿Funcionan las máscaras de hipoxia para mejorar el rendimiento de los deportistas? [Internet]. Vitonica.com. Vitónica; 2017 Disponible en:

<https://www.vitonica.com/entrenamiento/funcionan-las-mascaras-de-hipoxia-para-mejorar-el-rendimiento-de-los-deportistas>

[20]

Castillo RL, Salinas Y, Ramos D. Efectos biológicos de la exposición a distintas concentraciones de oxígeno: desde la hipoxia hipobárica al oxígeno hiperbárico. Rev Med Chil [Internet]. 2022;150(10):1351–60. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872022001001351](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872022001001351)

[21]

Li SN, Peeling P, Scott BR, Peiffer JJ, Shaykevich A, Girard O. Recovery following exercise-induced fatigue: Influence of a single heart rate clamped cycling session under systemic hypoxia. J Sports Sci 2024 March 19:1-8.

[22]

Moraga FA, Osorio J, Jimenez D, Calderon-Jofre R, Moraga D. Aerobic Capacity, Lactate Concentration, and Work Assessment During Maximum Exercise at Sea Level and High Altitude in Miners Exposed to Chronic Intermittent Hypobaric Hypoxia (3,800 m). Front Physiol 2019 September 06;10:1149.

[23]

Champigneulle B, Brugniaux JV, Stauffer E, Doutreleau S, Furian M, Perger E, et al. Expedition 5300: limits of human adaptations in the highest city in the world. J Physiol 2023 December 26.

[24]

Zaldívar Navarrete M. El impacto de la ansiedad en deportistas profesionales. Dilemas contemp: educ política valores [Internet]. 2021;9(SPE1). Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-78902021000800035](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78902021000800035)

[25]

Colagrai AC, Barreira J, Nascimento FT, Fernandes PT. SALUD Y TRASTORNO MENTAL EN ATLETAS DE ALTO RENDIMIENTO: MAPEO DE LOS ARTÍCULOS CIENTÍFICOS INTERNACIONALES. Mov (ESEFID/UFRGS) [Internet].;28:e28008. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/mov/a/nWM6ZfVCRLmhrHkfkjPnzsN/abstract/?lang=es>

[26]

Salazar Rojas W, Solís Rodríguez AI, Barboza Zamuria R. Efecto de la Salud Mental en el rendimiento deportivo en nadadores de élite. Rev costarric salud pública [Internet].;6(10):29–37. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14291997000100005](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291997000100005)

[27]

Tulio G. Depresión y ansiedad en deportistas juveniles masculinos y femeninos de Ecuador [Internet]. Guterman Tulio. Disponible en: <https://efdeportes.com/efdeportes/index.php/EFDeportes/article/view/3397/1694>

[28]

Vidas VM. La importancia de la salud mental en el deporte [Internet]. ViveMásVidas. ViveMásVida; 2022. Disponible en: <https://www.vivemasvidas.com/movimiento/deporte/salud-mental-deporte>

[29]

Robledo PC. La salud mental en el deporte de élite, la gran asignatura pendiente en España [Internet]. National Geographic. 2022. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2022/01/la-salud-mental-en-el-deporte-de-elite-la-gran-asignatura-pendiente-en-espana>

[30]

Jiménez S, Ariza AL, Humberto H. Psicología de la actividad física y del deporte [Internet]. Redalyc.org Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4138/413835216011.pdf>

## ANEXOS

### 12. CONSENTIMIENTO INFORMADO:

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO DE ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA

Título del estudio: Entrenamiento en hipoxia para deportistas de élite.

Investigador principal: Marta Alonso Aguña

Institución: EUEF San Juan de Dios

La investigación actual tiene como **objetivo** evaluar los efectos del entrenamiento con hipoxia sobre las habilidades deportivas de deportistas de élite. El estudio incluirá la **participación en sesiones** de capacitación bajo condiciones hipoxicas, bajo la supervisión de personal capacitado. Los participantes realizarán ejercicios específicos adaptados a sus disciplinas deportivas habituales durante estas sesiones. Los participantes han sido informados de que el entrenamiento en hipoxia puede presentar **riesgos** como confusión, cansancio y, en ocasiones, problemas respiratorios. No obstante, se espera que los beneficios potenciales incluyan mejoras en la resistencia, la capacidad aeróbica y el rendimiento general en el deporte. Toda información recopilada durante el estudio se tratará con **confidencialidad**. Solo se utilizarán los datos para fines de investigación y se almacenarán de manera segura. La participación en esta investigación es completamente voluntaria. Los participantes tienen la libertad de retirarse en cualquier momento sin sanción y sin justificación.

#### Consentimiento:

Yo, \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_, he sido informado sobre los objetivos, procedimientos, riesgos y ventajas relacionados con mi participación en el estudio de entrenamiento en hipoxia para atletas de élite. Soy consciente de que mi participación es completamente voluntaria y que tengo la libertad de retirarme en cualquier momento. Además, soy consciente de que tengo derecho a hacer preguntas antes, durante o después de mi participación en el estudio, y que el personal de investigación responderá estas preguntas de manera clara y comprensible.

Por la presente, doy mi consentimiento para participar en el estudio y me comprometo a cumplir con todos los procedimientos establecidos.

Firma del Participante: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma del Investigador Principal: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Tenga una copia de este formulario para su uso personal. Si tiene preguntas o preocupaciones sobre su participación en el estudio, no dude en comunicarse con el investigador principal al correo electrónico [malonsoag4@gmail.com](mailto:malonsoag4@gmail.com) o al 638484xxx.

## **13. FICHA DE RECOGIDA DE DATOS**

FICHA DE RECOGIDA DE DATOS - ESTUDIO DE ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE

Información del participante:

-Nombre:

- Edad:

- Género:

- Deporte(s) practicado(s):

- Nivel de competencia:

**Variables Recogidas:**

1. Frecuencia cardíaca en reposo (bpm):

2. Presión arterial (mmHg):

- Sistólica:

- Diastólica:

3. Altura (cm):

4. Peso (kg)

5. Índice de Masa Corporal (IMC):

6. Consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx) (ml/kg/min):

7. Tiempo en ejercicio hasta fatiga (min)

8. Tiempo de recuperación post-ejercicio (min):

9. Rendimiento deportivo (Medición específica según deporte):

10. Nivel de saturación de oxígeno (% SpO<sub>2</sub>):

11. Altitud de entrenamiento (m):

12. Duración de la exposición a la hipoxia (h/día):

15. Frecuencia de las sesiones de entrenamiento en hipoxia (días/semana):

16. Número de sesiones de entrenamiento completadas

17. Efectos secundarios reportados (si corresponde):

- Mareos

- Fatiga

- Otros (especificar):

Observaciones Adicionales:

[En este espacio, se pueden registrar observaciones adicionales relevantes para el estudio, tales como condiciones ambientales, ajustes en el protocolo, comentarios del participante, entre otros.]

Firma del Investigador Responsable:

---

Fecha:

---

Complete todos los campos con los datos correspondientes. Esta recogida de datos es esencial para que el estudio funcione correctamente y los participantes se encuentren en un entorno seguro y monitorizado. Puede ponerse en contacto con el equipo de investigación si tiene preguntas o necesita alguna una explicación adicional.

