

Impacto del Entrenamiento en Altitud sobre el Rendimiento y las Adaptaciones Fisiológicas en Nadadores de Élite

**GRADO EN
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE**

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



CURSO ACADÉMICO 2024

Alumno/a: Ángel Mena Martínez-Santos

Tutor académico: Manuel Peláez Pérez

ÍNDICE:

1. CONTEXTUALIZACIÓN	3
2. PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA).....	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO).....	5
4. DISCUSIÓN	10
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
6. BIBLIOGRAFÍA	15
7. ANEXOS	17



1 CONTEXTUALIZACIÓN

Este trabajo fin de grado gira entorno al entrenamiento en altitud. Este tipo de entrenamiento es considerado como una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento en los deportistas, especialmente en las disciplinas de deportes cíclicos. La hipoxia es un efecto que afecta a los deportistas, que implica una reducción en la disponibilidad de oxígeno a nivel tisular y es una condición que puede inducirse de manera artificial o por la exposición a grandes altitudes. Esta disminución en la presión parcial de oxígeno desencadena diversas adaptaciones fisiológicas que pueden potenciar el rendimiento atlético (Millet et al., 2010)

En el contexto del rendimiento deportivo, se ha podido observar en diversos estudios que, entre los 1800 y 4000 metros sobre el nivel del mar, es el rango donde se comienzan a manifestar las adaptaciones significativas en el cuerpo humano. Estas adaptaciones se clasifican en hematológicas y no hematológicas. Las adaptaciones hematológicas incluyen el aumento en la masa de hemoglobina (Hb-mass) debido a una mayor producción de glóbulos rojos, lo que mejora la capacidad de transporte de oxígeno, y en consecuencia, el rendimiento aeróbico (Mujika et al., 2019). Las adaptaciones no hematológicas abarcan un incremento en la expresión de genes mitocondriales, lo cual mejora la capacidad de producción de energía y la eficiencia del metabolismo muscular (Meeuwssen et al., 2001). Estas adaptaciones no solo incrementan el número y la actividad de mitocondrias, si no también mejoran la amortiguación muscular y la eficiencia energética.

En este trabajo nos focalizaremos en el deporte de la natación, disciplina que exige una combinación de esfuerzos aeróbicos y anaeróbicos, aparte de que se requiere mucha técnica para realizar un nado eficaz y eficiente. Los nadadores deben optimizar su capacidad respiratoria mientras se desplazan. Las distancias que se realizan en competiciones oficiales varían desde los 50 hasta los 1500 metros, en piscinas de 25 a 50 metros, según las normativas de la Fédération Internationale de Natation (FINA). Los estilos reconocidos incluyen el estilo libre, braza, espalda y mariposa, además de la modalidad de estilos combinados (Pyne et al., 2001). Los nadadores de élite entrenan rigurosamente para mejorar sus marcas, trabajando su capacidad cardiopulmonar y su fuerza en todos sus perfiles.

Enlazando la natación con el entrenamiento en altitud, se observa como en bastantes disciplinas mejoran el rendimiento tras realizar sesiones de entrenamiento en altitud. Sin embargo es muy importante profundizar sobre todo en relación a las adaptaciones fisiológicas que puedan tener los nadadores porque si no se plantea de manera correcta un buen plan de intervención puede ocasionar riesgos en la salud de los nadadores o que no se consigan adaptaciones positivas en el proceso. A pesar de los numerosos estudios que hay en la literatura, aún existe una necesidad de entender mejor como el entrenamiento en altitud afecta a los nadadores a nivel de salud y rendimiento.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre el impacto del entrenamiento en altitud en nadadores de élite. Se busca analizar las adaptaciones a nivel de salud, evaluar cómo influyen en los entrenamientos y competiciones y gestionar los posibles riesgos asociados. Así que con este trabajo se pretende proporcionar información para la implementación de estrategias de entrenamiento en altitud en programas de natación de alto rendimiento.

2 PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN (METODOLOGÍA)

La metodología que se ha empleado para la realización de este trabajo se ha basado en seguir los criterios de la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) con el objetivo de recopilar los artículos científicos que hablan de los efectos fisiológicos y de rendimiento en los nadadores que entrenan por un tiempo determinado en altitud.

Para la búsqueda de la literatura científica del tema a tratar se realizó en las bases de datos de PubMed, SportDiscus, Dianet y de apoyo para la contextualización e información adicional Google Académico. Las palabras clave que se han usado para la búsqueda en las bases de datos fueron: "altitude training" AND "swimming"

Los criterios de selección se divide en dos apartados: criterios de inclusión y criterios de exclusión.

- Criterios de inclusión: Se establecieron los siguientes criterios de inclusión para seleccionar los estudios relevantes:
 - Los participantes fueran nadadores de rendimiento.
 - Las intervenciones fueran en altitud.
 - Variables que midan las adaptaciones fisiológicas.
 - Artículos publicados en inglés y en español.
 - Estudios de 2014 a 2024.
- Criterios de exclusión: Se usaron los siguientes criterios de exclusión para descartar los estudios que:
 - Involucren a otros deportistas que no sean de natación.
 - Que no se hayan realizado en altitud.
 - No analicen adaptaciones fisiológicas o de rendimiento.

En el proceso de selección de artículos, como primer paso se eliminaron los duplicados identificados en las bases de datos. Posteriormente se hizo el cribado de los títulos y resúmenes, se revisaron los títulos y los abstracts de los artículos para descartar aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión. Y ya con los artículos seleccionados se realizó una revisión exhaustiva de los artículos para asegurar que cumplían con todos los criterios de elegibilidad.

Los datos se recopilaron sobre la base de las siguientes variables: Título del artículo, autores, tamaño de la muestra, diseño del estudio, duración de la intervención, variables medidas, resultados de los artículos.

Se realizó una síntesis narrativa de los resultados obtenidos de los artículos seleccionados, destacando las principales adaptaciones fisiológicas y de rendimiento observadas en nadadores sometidos a entrenamiento en altitud.

En las bases de datos usando las palabras clave de identificaron un total de 38 artículos:

- Dialnet: 8 artículos
- SportDiscus: 14 artículos
- PubMed: 16 artículos

Después de eliminar los duplicados, realizar el cribado con los títulos se seleccionaron 20 artículos para una revisión más detallada. Una vez leído cada artículo finalmente 8 artículos cumplieron con todos los criterios de inclusión y se incluyeron en la revisión sistemática.

El procedimiento que se seguía para la búsqueda y para la selección de los artículos se muestra en la figura 1.

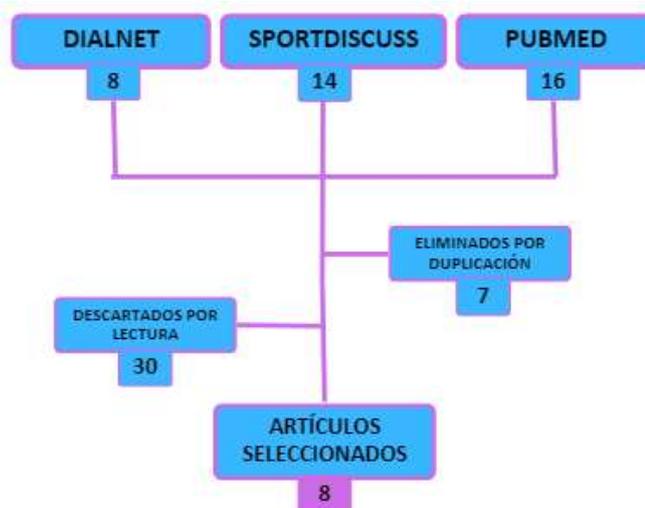


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (DESARROLLO)

En la tabla 1 se muestran los 8 artículos que se ha seleccionado para la realización de este trabajo. Los artículos revisados sobre el entrenamiento en altitud en nadadores se han realizado en diversos países, donde se incluyen China, Japón, Dinamarca, España, Eslovenia y Alemania. A pesar de las diferencias geográficas los estudios comparten términos comunes de diseño experimental, los objetivos y las variables a medir. Hay un total de 141 nadadores participantes como muestras sin especificar el género, junto a otros que sí se especifican: 45 hombres y 33 mujeres, lo que hace un total de 219 participantes. Las edades de los participantes se mueven en un rango de 13 a 20 años. Las condiciones de altitud de los estudios son desde los 1360 mínimo a los 2500 metros sobre el nivel del mar.

Las variables que se han medido las dividimos en hematológicas y no hematológicas. Las variables medidas no hematológicas han sido la capacidad de difusión pulmonar para el monóxido de carbono (DLCO), la capacidad pulmonar total (TLC), el volumen alveolar (VA) y el coeficiente de transferencia de los pulmones para el monóxido de carbono (KCO). También se midieron la respuesta inmunológica mediante la expresión CD55 y CD59 en los glóbulos rojos y blancos, y los niveles de inmunoglobulinas IgG, IgM e IgA. Aparte se evaluaron las variables de rendimiento en los tiempos en distintas pruebas de natación, la frecuencia cardíaca, la percepción del esfuerzo (RPE) y el lactato en sangre ([La]max). Luego en las variables hematológicas encontramos la masa de hemoglobina (Hb-mass), la concentración de hemoglobina (Hb) y los niveles de eritropoyetina (EPO). Variables que son cruciales para entender como el entrenamiento en altitud puede mejorar la capacidad de transporte de oxígeno en los nadadores

Autores	Artículo	Tamaño de la muestra	Diseño del estudio	Duración de la intervención	Variables que se miden en el artículo	Resultados
Wang, X., Huang, L., & Gao, H. (2018)	Effects of Hypoxic Preconditioning Combined with Altitude Training on CD55, CD59, and the Immune Function of Swimmers	9 nadadores masculinos de Shanghai	Estudio experimental controlado	3 semanas de pre-condicionamiento hipóxico seguidas de 3 semanas de entrenamiento en altitud	Expresión de CD55 y CD59 en glóbulos rojos (RBCs) y glóbulos blancos (WBCs) Recuento de RBC y WBC Expresión de CD3, CD4 y CD8 en linfocitos T Niveles de inmunoglobulinas IgG, IgM e IgA	Mejoraron los marcadores inmunológicos
Watanabe, K., Jesmin, S., Murase, Y., Takeda, T., Shiraki, T., & Sengoku, Y. (2016)	Effects of Repetitive Altitude Training on Salivary Immunoglobulin A Secretion in Collegiate Swimmers	27 participantes	Estudio experimental comparativo	Primer campamento 17 días Segundo campamento 21 días Tercer campamento 24 días	Tasa de secreción salival (SSR) Concentración de inmunoglobulina A secretoria (SIgA-C) Velocidad de secreción de SIgA (SIgA-V)	Disminución de SIgA-C mayor en el grupo Ft que en el RT....
Bonne, T. C., Lundby, C., Jørgensen, S., Johansen, L., Mrgan, M., Bech, S. R., et al. (2014)	Live high-train high increases hemoglobin mass in Olympic swimmers	18 nadadores olímpicos	Estudio experimental controlado	24 días a 2,500 m sobre el nivel del mar	Masa de hemoglobina (Hb-mass), volumen de glóbulos rojos (RBC), concentración de hemoglobina ([Hb]), rendimiento en natación	Aumento significativo en Hb-mass y RBC, mejora en rendimiento en natación
García, I., Drobnic, F., Galera, T., Pons, V., & Viscor, G. (2017)	Lung Diffusion in a 14-Day Swimming Altitude Training Camp at 1850 Meters	8 nadadores de nivel internacional (5 mujeres y 3 hombres)	Estudio experimental	14 días	Capacidad de difusión pulmonar para el monóxido de carbono (DLCO) Volumen alveolar (VA) Coeficiente de transferencia de los pulmones para el monóxido de carbono (KCO) Capacidad pulmonar total (TLC)	Disminución del volumen alveolar (VA) y la capacidad pulmonar total (TLC). Aumento del coeficiente de transferencia de Iso pulmones para el monóxido de carbono (KCO). No se alteró la capacidad de

					Volumen residual (RV)	disfusión pulmonar.
Štrumbelj, B. (2014)	Preventing Excessive Loss of Water During Training at Moderate Altitude with Proper Hydration	14 mujeres y 6 hombres del equipo nacional	Estudio experimental	21 días de entrenamiento	Masa corporal (BM) y agua corporal (TBW)	BM y TBW no variaron
García-Ramos, A., Štirn, I., Padijal, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Calderón, C., Bonitch-Góngora, J., Tomazin, K., Strumbelj, B., Strojnik, V., & Feriche, B. (2016)	The Effect of an Altitude Training Camp on Swimming Start Time and Loaded Squat Jump Performance	13 nadadores internacionales (8 mujeres, 5 hombres)	Estudio experimental controlado	3 semanas de campamento de entrenamiento en altitud a 2320 m sobre el nivel del mar, y 3 semanas de campamento de entrenamiento a nivel del mar (295 m) realizado con un año de diferencia.	Tiempo de inicio de natación en 15 m estilo libre (start time) Rendimiento en salto de sentadilla cargada (Loaded Squat Jump, LSJ) con cargas adicionales del 25%, 50%, 75% y 100% del peso corporal de los nadadores Velocidad de despegue horizontal Tiempo en los 5, 10 y 15 metros	Perdida poco significativa en el rendimiento
Wachsmuth, N. B., Völzke, C., Prommer, N., Schmidt-Trucksass, A., Frese, F., Spahl, O., Eastwood, A., Stray-Gundersen,	The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers	45 nadadores de élite (24 hombres, 21 mujeres)	Estudio experimental controlado con mediciones repetidas	4 semanas Entre 1 y 3 veces por 3-4 semanas en campamentos de entrenamiento en altitud a 2,320 m (3 ATCs) y 1,360 m (1 ATC)	Masa de hemoglobina (Hb-mass) Concentración de hemoglobina ([Hb]) Hematocrito (Hct) Recuento de reticulocitos Epoetina (EPO) Rendimiento en competición según el sistema de puntos alemán	Aumento de la masa de la hemoglobina. En el día 13 se encontró aumentada y seguía elevada 24 días después del volver. Mejoro un poco el rendimiento en natación entre Iso 25 a 35 días después del retorno de la altitud

J., & Schmidt, W. (2013)						
González-Ravé, J. M., Pyne, D. B., del Castillo, J. A., González-Mohino, F., & Stone, M. H. (2018)	Training periodization for a world-class 400 meters individual medley swimmer	1 nadador de nivel mundial especializado en 400 metros estilos (Joan Lluís Pons Ramón)	Estudio de caso	52 semanas	Hemoglobina (HB), Hematocrito (Hct) Frecuencia Cardiaca (HR) Lactato en sangre (La-) Velocidad de nado y potencia y velocidad en pull-ops	Aumento de la HB y del Hct. HR y La. Disminuyeron en intensidades submáximas. Mejora en la velocidad de nado
<p><i>Hb-mass: Masa de hemoglobina; [Hb]: Concentración de hemoglobina; RBC: Recuento de glóbulos rojos; WBC: Recuento de glóbulos blancos; DLCO: Capacidad de difusión pulmonar para el monóxido de carbono; VA: Volumen alveolar; KCO: Coeficiente de transferencia de los pulmones para el monóxido de carbono; TLC: Capacidad pulmonar total; RV: Volumen residual; SIgA-C: Concentración de inmunoglobulina A secretoria; SIgA-V: Velocidad de secreción de inmunoglobulina A secretoria; SSR: Tasa de secreción salival; EPO: Eritropoyetina; CD55: Marcador de superficie de células; CD59: Marcador de superficie de células; CD3: Marcador de linfocitos T; CD4: Marcador de linfocitos T colaboradores; CD8: Marcador de linfocitos T citotóxicos; VAM: Velocidad Aeróbica Máxima; RPE: Percepción del esfuerzo; La-: Lactato en sangre</i></p>						

Seguidamente se va comentar los resultados de las variables que hemos comentado anteriormente:

El primer estudio (Wang et al., 2018) vieron que el pre-acondicionamiento hipóxico combinado con el entrenamiento en altitud mejoró la expresión de CD55 y CD59 en los glóbulos rojos y blancos, estas protegen a las células del ataque del sistema inmune. Así como un aumento de los niveles de las inmunoglobinas de IgM e IgA, juegan un papel crucial en la defensa contra las infecciones, sugiriendo que el entrenamiento en altitud mejora el sistema inmunológico.

En el segundo estudio (Watanabe et al., 2016) investigó sobre la secreción de inmunoglobina A salival en nadadores universitarios en altitud. Los resultados mostraron una disminución significativa de la concentración de SIgA-C, esto quiere decir que puede afectar de manera negativa ya que reduce de manera temporal la capacidad de protegerse ante patógenos en estas aéreas. Los autores sugieren plantear estrategias de recuperación y monitorización de los nadadores aparte de incluir un plan nutricional.

El tercer estudio (Bonnet et al., 2014) examinó el impacto de vivir y entrenar en altitud sobre la masa de hemoglobina en nadadores olímpicos. Los resultados mostraron un aumento significativo en la masa de hemoglobina y en el volumen de glóbulos rojos, eso significa una mejor del rendimiento tras 24 días mejoran la masa de hemoglobina, mejoraron sus marcas, en velocidad no había mucha diferencia de mejora respecto al otro grupo que no entreno en altitud pero en la prueba de los 3000 metros si mejoraron más.

El siguiente estudio (García et al., 2017) analizó la difusión pulmonar en un campamento de 1850 metros de altitud durante 2 semanas. Se vio una disminución en el volumen alveolar (VA) y en la capacidad pulmonar (TLC), pero aumentó el coeficiente de transferencia de los pulmones para el monóxido de carbono (KCO). Ese descenso del VA y de ITLC es debido a la altitud, pero la mejora de KCO quiere decir que es más eficiente que el oxígeno se transfiera a los alveolos a la sangre, factor que ayudar a mejorar la capacidad de los nadadores.

El quinto estudio (Štrumbelj, 2014) se centró en prevenir la deshidratación excesiva durante los entrenamientos de altitud. Se realizó a 20 nadadores de nivel nacional. Midieron la masa corporal, el agua corporal total. El estudio se vio que, monitoreando a la masa corporal y agua corporal de los nadadores, dando dietas individualizadas a cada uno y ingiriendo 3 litros de agua diarios, se vio que no se producía pérdida de masa ni de agua.

En el estudio de García-Ramos et al., 2016 se midió los tiempos de inicio de natación y el rendimiento en sentadilla cargada, musculatura implicada en la salida de natación. Los resultados mostraron una pérdida poco significativa en el rendimiento durante el campamento, lo que sugiere que no tiene un impacto negativo notable en el rendimiento de la salida.

El séptimo estudio (Wachsmuth et al., 2013) exploraron los efectos del entrenamiento en altitud sobre la masa de hemoglobina en nadadores de élite. Los resultados mostraron un aumento significativo en la masa de la hemoglobina después de 4 semanas en altitud, a 2320 metros. Los niveles de hemoglobina elevados se mantuvieron hasta 24 días después del retorno a nivel del mar. Analizaron antes y después del entrenamiento en altitud y mejoraron significativamente las marcas de las pruebas de natación.

El octavo estudio (González-Ravé et al., 2018) trata sobre la periodización del entrenamiento y su impacto en el rendimiento al nadador de nivel mundial Joan Lluís Pons Ramón. Se analizó la concentración de hemoglobina y el hematocrito antes y después de los periodos de entrenamientos en altitud. También la frecuencia cardiaca y los niveles de lactato en sangre durante los esfuerzos máximos y submáximos. Y de rendimiento se tomó en cuenta las marcas de las competiciones oficiales durante la temporada y un test con pull. Los resultados del estudio muestran mejoras en los parámetros hematológicos, aumentando la concentración de hemoglobina y hematocrito. LA frecuencia cardiaca y los niveles de lactato disminuyeron en esfuerzos submáximos, eso quiere decir que se provocó una adaptación positiva al ser más eficiente. Y a nivel de rendimiento fue mejorando sus marcas.

4 DISCUSIÓN

Como ya hemos ido comentando, el objetivo del este trabajo ha sido recopilar información sobre las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento que experimentan los nadadores cuando entrenan en altitud a través de la revisión de artículos científicos. Se han identificado adaptaciones positivas como posibles riesgos que pueden suponer un problema para la salud de los nadadores que vamos exponer a continuación.

El entrenamiento en altitud puede tener efectos adversos sobre el sistema inmunológico, especialmente en la inmunidad mucosal (Watanabe et al. 2016), donde se encontró una disminución significativa en la concentración de inmunoglobina A salival (IgA-C) y en la velocidad de secreción de IgA (IgA-V) en nadadores que realizaban entrenamientos repetitivos en altitud. Esta reducción en IgA afecta negativamente a la defensa inmunológica mucosal, haciendo que sean más susceptibles a infecciones en el tracto respiratorio (Watanabe et al. 2016). Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar estrategias de recuperación y monitoreo de la salud inmunológica antes, durante y después de los entrenamientos en altitud.

Por otro lado, se han visto efectos positivos en la respuesta inmunológica, donde se ha podido ver los entrenamientos en altitud aumentan significativamente la expresión de CD55 y CD59 en glóbulos rojos y blancos, que son las proteínas que previenen la destrucción celular. También aumenta la expresión de las moléculas CD4, CD3 y CD8. CD3 es la molécula esencial en la activación de las células T, mientras que CD4 se encuentran en las células T auxiliares que orquestan la respuesta inmune y CD8 se enciende en las células t citotóxicas que elimina células infecciosas y cancerosas. Estas adaptaciones sugieren una respuesta inmunológica más robusta, que puede ser beneficiosa para las recuperaciones y el rendimiento de los nadadores (Wang et al., 2018)

Realizar las sesiones de entrenamiento en altitud durante un tiempo determinado induce adaptaciones hematológicas significativas que pueden mejorar el rendimiento aeróbico de los nadadores. Estas adaptaciones son esenciales para optimizar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, un factor crítico en el rendimiento de resistencia. Se puede observar el aumento significativo de la masa de hemoglobina (Hb-mass) y el volumen de glóbulos rojos. La hemoglobina es una proteína en los glóbulos rojos que transporta oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos del cuerpo y lleva el dióxido de carbono de regreso a los pulmones para ser exhalado. Un aumento en la masa de hemoglobina significa que más oxígeno puede ser transportado a los músculos durante el ejercicio (Bonne et al. 2014) (Wachsmuth et al 2013)

El aumento de Hb-mass se logra a través de la producción de más glóbulos rojos en respuesta a la hipoxia o a bajos niveles de oxígenos que se experimentan en altitud. La eritropoyetina (EPO), una hormona producida por los riñones, se libera en mayores cantidades en condiciones de hipoxia y estimula la producción de glóbulos rojos en la médula ósea. Este proceso, conocido como eritropoyesis, es fundamental para incrementar el volumen de glóbulos rojos y, por ende, la masa de hemoglobina.

En el estudio de Bonne et al., 2014, los nadadores olímpicos que participaron en un programa de entrenamiento de 24 días a 2500 metros sobre el nivel del mar mostraron un aumento significativo en Hb-mass y el volumen de glóbulos rojos. Esta adaptación se reflejó en el rendimiento. Del mismo modo, Wachsmuth et al., 2013 encontraron que la masa de la hemoglobina aumento significativamente después de 3-4 semanas de entrenamiento en altitud a 2320 metros. Este aumento se mantuvo elevado hasta 24 días después del retorno al nivel del mar, indicando una retención de las adaptaciones beneficiosas que pueden contribuir a un mejor rendimiento competitivo.

Las implicaciones para la planificación del entrenamiento en altitud son fundamentales para maximizar los beneficios fisiológicos y de rendimiento, minimizando al mismo tiempo los riesgos asociados. Primero hay que pasar por una fase de aclimatación, con un período de 2 a 4 semanas, la intensidad debe de ser ligera a moderada para permitir que el cuerpo se ajuste a la hipoxia, evitando el estrés excesivo y el sobreentrenamiento. Una vez que los atletas han pasado la fase de aclimatación, la intensidad y el volumen del entrenamiento pueden incrementarse progresivamente. Este enfoque gradual permite maximizar las adaptaciones fisiológicas, como el aumento de la masa de hemoglobina y la mejora en la capacidad de transporte de oxígeno (Bonne et al., 2014; Wachsmuth et al., 2013). Es fundamental que los entrenadores monitoreen de cerca la respuesta de los atletas al entrenamiento en altitud, ajustando la carga de trabajo según sea necesario para evitar la fatiga y el agotamiento.

Aparte, es muy importante incluir una fase de tapering al regresar al nivel del mar, lo que va permitir a los nadadores que se recuperen y consoliden las adaptaciones producidas. Durante el tapering se reduce gradualmente el volumen total de entrenamiento y se mantiene la intensidad, esto es clave para que los nadadores lleguen en sus mejores condiciones a la competición.

El estudio de González-Ravé et al. (2018) proporciona una ilustración práctica de cómo se puede estructurar la periodización del entrenamiento en altitud para optimizar el rendimiento de un nadador de élite. En este estudio, el nadador Joan Lluís Pons Ramón pasó por varias fases de entrenamiento en altitud distribuidas a lo largo de un año, con campamentos de altitud de 10 a 28 días de duración. Los resultados mostraron mejoras significativas en la concentración de hemoglobina y hematocrito, así como en la frecuencia cardíaca y los niveles de lactato en sangre. Estas adaptaciones permitieron una mejor eficiencia cardiovascular y metabólica, lo que se tradujo en mejoras en la velocidad de nado.

5 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Objetivo: Desarrollar un protocolo orientado a los centros de alto rendimiento para la periodización y ejecución del entrenamiento en altitud en nadadores de competición, basado en los resultados extraídos de los artículos seleccionados para este trabajo.

El entrenamiento en altitud ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento en nadadores de élite mediante adaptaciones fisiológicas significativas. Estas adaptaciones incluyen mejoras en la capacidad de transporte de oxígeno, eficiencia energética y respuestas inmunológicas. El objetivo del protocolo es proporcionar una guía detallada para la implementación y monitorización de los campamentos de entrenamiento en altitud para nadadores que residen en centros de alto rendimiento. El protocolo se dividirá en varias fases, cada una con objetivos y metodologías específicas.

5.1. Fase de Preparación

- **Duración de los Campamentos:** Los campamentos de altitud deben tener una duración de 2 a 4 semanas, con una frecuencia de 2 a 3 campamentos por año, ajustados según las competiciones objetivo.
- **Evaluación Inicial:**
 - **Pruebas Médicas:** Realizar una evaluación médica completa, incluyendo pruebas de función pulmonar, hematológicas y cardiovasculares. Es importante establecer baselines para poder evaluar el progreso (Wang et al., 2018).
 - **Establecimiento de Baselines:** Evaluar la condición física inicial del nadador mediante pruebas de rendimiento en distancias de 50m, 100m, 400m, etc.

5.2. Fase de Aclimatación:

- **Semana Previa:** Realizar un tapering (reducción progresiva de la carga de entrenamiento) para subir en buenas condiciones y sin fatiga acumulada.
- **Duración en Altitud:** Los primeros 3 a 5 días en altitud deben enfocarse en cargas ligeras a moderadas para permitir una adaptación gradual a la hipoxia. Supervisar los niveles de oxígeno y síntomas de mal de altura (Watanabe et al., 2016).
- **Hidratación y Nutrición:** Implementar pautas nutricionales individualizadas y asegurar una ingesta adecuada de líquidos, con un objetivo de al menos 3 litros de agua diaria para prevenir la deshidratación (Štrumbelj, 2014).

5.3. Fase de Entrenamiento Intensivo

- **Volumen de Entrenamiento:** Ajustar el volumen semanal al 80-90% del entrenamiento habitual al nivel del mar para evitar el sobreentrenamiento (Wachsmuth et al., 2013).
- **Distribución de Sesiones:**
 - **4 a 6 sesiones de entrenamiento aeróbico**
 - **2 a 3 sesiones de entrenamiento anaeróbico**
 - **2 a 3 sesiones de entrenamiento de fuerza en el gimnasio**

5.4. Fase de Tapering:

- **Duración:** Últimos 3 a 5 días del campamento.
- **Reducción de Volumen:** Reducir progresivamente el volumen de entrenamiento, manteniendo la intensidad alta para consolidar las adaptaciones.
- **Monitorización:** Continuar monitoreando la frecuencia cardíaca, niveles de lactato y marcadores de fatiga.

5.5 Monitoreo y Evaluación Continua

- **Hematológicas:** Realizar pruebas de hemoglobina, hematocrito y eritropoyetina antes, durante y después del campamento (Bonne et al., 2014; Wachsmuth et al., 2013). Por ejemplo, se puede esperar un aumento de la hemoglobina de aproximadamente 1-2 g/dL en comparación con los niveles al nivel del mar.
- **Cardiovasculares:** Evaluar la frecuencia cardíaca en reposo, durante el ejercicio y en recuperación.
- **Rendimiento:** Medir mejoras en los tiempos de competición y en pruebas de control (p.ej., velocidad en diferentes distancias, rendimiento en ejercicios de fuerza) (González-Ravé et al., 2018).

5.6. Consideraciones Nutricionales:

- **Hidratación:** Asegurar una ingesta adecuada de líquidos, con un objetivo de al menos 3 litros de agua diaria (Štrumbelj, 2014).
- **Suplementación:** Considerar la suplementación con hierro y otros nutrientes esenciales para apoyar la producción de glóbulos rojos y la recuperación (Wang et al., 2018).

5.7. Estrategias de Recuperación

- **Descanso Activo:** Incluir sesiones de bajo impacto, como nado suave y ejercicios de movilidad.
- **Masajes y Terapias:** Incorporar masajes deportivos y terapias de recuperación para reducir la tensión muscular y promover la recuperación.

5.8. Evaluación Post-Campamento

- **Pruebas Médicas:** Repetir las evaluaciones médicas completas para identificar adaptaciones y cualquier posible efecto adverso.
- **Revisión del Rendimiento:** Analizar los datos de rendimiento para evaluar las mejoras y ajustar futuros programas de entrenamientos.

En conclusión, este protocolo proporciona una guía estructurada y basada en la evidencia para la implementación del entrenamiento en altitud en nadadores de élite. Al seguir estas recomendaciones, los centros de alto rendimiento pueden maximizar los beneficios del entrenamiento en altitud y optimizar el rendimiento de sus atletas. La monitorización continua y la adaptación del programa según las respuestas individuales de los nadadores son esenciales para el éxito de esta estrategia de entrenamiento. Ahora mostraré un ejemplo de periodización con el centro de alto rendimiento de Petxina (Valencia).

Ejemplo de Implantación con el grupo de nadadores del centro de alto rendimiento de petxina:

Se va a realizar una subida a Sierra Nevada con el grupo de entrenamiento del Centro de Alto Rendimiento de Petxina para preparar el Campeonato de España, que se celebrará el 25 de julio. Este campamento de altitud tiene como objetivo principal maximizar las

adaptaciones fisiológicas de los nadadores, mejorar su rendimiento y asegurar que lleguen en óptimas condiciones a la competición.

El campamento se llevará a cabo en la altitud de 2320 metros, del 24 de junio al 10 de julio, seguido por un periodo de preparación a nivel del mar hasta el campeonato. El grupo está compuesto por 16 nadadores, 8 hombres y 8 mujeres, de 16 a 18 años, quienes participarán en su primer entrenamiento en altitud, son nadadores de nivel nacional que llevan participando en finales nacionales los últimos 2 años.

A. Fase de Preparación (17 al 23 de junio)

La semana antes del campamento se realizará un tapering para reducir progresivamente la carga de entrenamiento y eliminar la fatiga acumulada. Durante este periodo, se llevarán a cabo evaluaciones médicas completas que incluirán pruebas de función pulmonar, hematológicas y cardiovasculares, además de pruebas de rendimiento en distancias de 50m, 100m y 400m para establecer los baselines.

B. Fase de Aclimatación (24 al 28 de junio)

Los primeros cinco días en altitud se enfocarán en cargas ligeras a moderadas para permitir una adaptación gradual a la hipoxia y minimizar los riesgos.

- **Día 1-2 en altitud:** 3000-4000 metros de nado a baja intensidad (60-70% del esfuerzo máximo), con un enfoque en técnica y eficiencia de movimiento, incluyendo ejercicios de nado suave y drills técnicos.
- **Día 3-5 en altitud:** 4000-5000 metros de nado a intensidad moderada, incrementando progresivamente el volumen de entrenamiento y manteniendo un enfoque en la técnica.

C. Fase de Entrenamiento Intensivo (29 junio al 5 de julio)

Una vez pasada la fase de aclimatación, la carga de entrenamiento se incrementará a moderada e intensa, ajustando el volumen semanal al 80-90% del entrenamiento habitual al nivel del mar para evitar el sobreentrenamiento. En este periodo los nadadores harán doble sesión de entrenamiento, por las mañanas realizarán las sesiones de carácter aeróbico, y las tardes se alternarán entre sesiones de agua anaeróbicas y con las sesiones de gimnasio

- **Entrenamiento Aeróbico:** 5 sesiones semanales de 5000-7000 metros a intensidad moderada. Haciendo series interválicas extensivas al 70-80% de la VAM.
- **Entrenamiento Anaeróbico:** 3 sesiones semanales de alta intensidad (por ejemplo, 8x50m al 90% del esfuerzo máximo con 1 min de descanso).
- **Entrenamiento de Fuerza:** 3 sesiones semanales en el gimnasio, incluyendo un circuito de fuerza con pull-ups, ejercicios de resistencia y pliometría.

D. Fase de Tapering (6 al 10 de julio)

Antes de volver al nivel de mar, el equipo realizará un mini tapering en cual vamos a buscar subir la intensidad de los entrenamientos realizando sesiones más anaeróbicas y específicas a los ritmo de competición y a su vez reducir el volumen progresivamente, realizando 4000 metros de media en estos últimos 5 días. También se reducirá 3 sesiones aeróbicas, y el resto se mantiene.

E. Evaluación Post-Campamento (11 y 18 de julio)

Se repetirán las evaluaciones médicas completas para identificar adaptaciones y cualquier posible efecto adverso, además de revisar los datos de rendimiento para evaluar las mejoras y ajustar futuros programas de entrenamiento.

F. Tapering hasta la competición objetivo

Una vez vuelto al nivel del mar, el que equipo está a 14 días del campeonato, donde los entrenamientos deberán ir reduciendo el volumen y manteniendo e aumentando la intensidad, ya realizando los esfuerzos específicos de que van a realizar en el nacional.

G. Competición Objetivo (25 de julio)

Los nadadores llegarán al Campeonato de España con las adaptaciones de altitud consolidadas y una puesta a punto final realizada en los días previos, asegurando que estén en su mejor condición física para maximizar su rendimiento.

Durante todo el proceso, se realizará un monitoreo continuo de las adaptaciones hematológicas (pruebas de hemoglobina, hematocrito y eritropoyetina) y cardiovasculares (frecuencia cardíaca en reposo, durante el ejercicio y en recuperación), así como de rendimiento (mejoras en tiempos de competición y pruebas de control). Además, se asegurarán pautas nutricionales individualizadas y una adecuada ingesta de líquidos, con un objetivo de al menos 3 litros de agua diaria, y suplementación con hierro y otros nutrientes esenciales según sea necesario.

6 BIBLIOGRAFÍA

- American College of Cardiology. (2023). Exercise and Elevation. Recuperado de <https://www.acc.org/latest-in-cardiology/articles/2023/06/01/12/42/exercise-and-elevation>
- Bonetti, D. L., & Hopkins, W. G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 39(2), 107-127.
- Bonne, T. C., Lundby, C., Jørgensen, S., Johansen, L., Mrgan, M., & Bech, S. R. (2014). Live high-train high increases hemoglobin mass in Olympic swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(2), 205-215.
- García, I., Drobnic, F., Galera, T., Pons, V., & Viscor, G. (2017). Lung Diffusion in a 14-Day Swimming Altitude Training Camp at 1850 Meters. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1837-1845.
- García-Ramos, A., Štirn, I., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Calderón, C., Bonitch-Góngora, J., Tomazin, K., Strumbelj, B., Strojnik, V., & Feriche, B. (2016). The Effect of an Altitude Training Camp on Swimming Start Time and Loaded Squat Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1935-1943.

- González-Ravé, J. M., Pyne, D. B., del Castillo, J. A., González-Mohino, F., & Stone, M. H. (2018). Training periodization for a world-class 400 meters individual medley swimmer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(10), 1275-1281.
- Gore, C. J., Clark, S. A., & Saunders, P. U. (2001). Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), S36-S43.
- Mujika, I., Sharma, A. P., & Stellingwerff, T. (2019). Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. *Sports Medicine*.
- Pyne, D. B., Lee, H., & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 291-297.
- Science in the News. (2024). High-Altitude-Hypoxia: Many solutions to one problem. Recuperado de <https://sitn.hms.harvard.edu/article/2024/high-altitude-hypoxia>
- Štrumbelj, B. (2014). Preventing Excessive Loss of Water During Training at Moderate Altitude with Proper Hydration. *International Journal of Sports Medicine*, 35(5), 422-428.
- Wachsmuth, N. B., Völzke, C., Prommer, N., Schmidt-Trucksäss, A., Frese, F., Spahl, O., Eastwood, A., Stray-Gundersen, J., & Schmidt, W. (2013). The effects of classic altitude training on hemoglobin mass in swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 113(5), 1199-1211.
- Wang, X., Huang, L., & Gao, H. (2018). Effects of Hypoxic Preconditioning Combined with Altitude Training on CD55, CD59, and the Immune Function of Swimmers. *Journal of Swimming Research*, 25(1), 45-53.
- Watanabe, K., Jesmin, S., Murase, Y., Takeda, T., Shiraki, T., & Sengoku, Y. (2016). Effects of Repetitive Altitude Training on Salivary Immunoglobulin A Secretion in Collegiate Swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(3), 324-331.

7 ANEXOS

Anexo 1. Entrenamiento físico

EJERCICIO	SERIES	REPETICIONES	INTENSIDAD	DESCANSO
PESO MUERTO 	3	3 A 5	90% DEL RM	3'
CLEAN AND YERK 	3	6 A 8	80% DEL RM	3'
LANZAMIENTO DE BALÓN MEDICINAL HORIZONTAL CON ROTACIÓN 	4	6 A 8	MÁXIMA VELOCIDAD	1' A 2'
SALTOS SUPRAMÁXIMOS CON GOMA 	3	5 A 8	MÁXIMA VELOCIDAD REACTIVA	2'
ROTADORES EXTERNOS EN POLEA ISÓMETRICOS 	2	10	X	1'
PLANCHA TOCANDO HOMBROS 	3	20	X	1'
EXTENSIONES DE LUMBARES 	3	15	X	1'

Anexo 2. Ejemplo sesión de agua en altitud en fase de entrenamiento:

Sesión: 12 en altitud	Objetivo: Ritmo de prueba + aeróbico intenso	Volumen total: 4200 metros
CALENTAMIENTO	PARTE PRINCIPAL	VUELTA A LA CALMA
<ul style="list-style-type: none"> - 300 metros variado - 8x25 metros hipoxia con palas y paracaídas - 300 metros con aletas: 25 metros pies + 25 metros técnica - 4x100 metros progresivo de la 1 a la 4 – A1 a A3 	<p>1 bloque:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 12x50 metros a ritmo de 200/ salida cada minuto - 100 metros suave <p>2 bloque: 2 veces:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 300 metros A2 con palas - 3x100 metros A3 / salida cada 2 minutos - 300 metros pies regresivos con aletas acabando suave 	<p>8x100 metros: 2 veces:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Técnica de crol 2. Salidas y virajes solo deslizamiento 3. Subacuáticas hasta los 25 metros 4. Salidas y virajes hasta los 15 metros

Anexo 3. Instalaciones deportivas de Sierra Nevada



