

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN ALTURA EN EL RENDIMIENTO Y LA
ADAPTACION FISIOLÓGICA DE ATLETAS MASTER**
**EFFECTS OF ALTITUDE TRAINING ON PERFORMANCE AND PHYSIOLOGICAL
ADAPTATION IN MASTER ATHLETES**

Autor: ¹José Fernando Simbaña Coyago y ²Martha Morayma Salazar Quinatoa.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6958-7582>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0677-6573>

¹E-mail de contacto: jose.simbanacoyago9983@upse.edu.ec

²E-mail de contacto: msalazar5006@upse.edu.ec

Afiliación:^{1*2*}Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).

Artículo recibido: 10 de Marzo del 2026

Artículo revisado: 12 de Marzo del 2026

Artículo aprobado: 17 de Marzo del 2026

¹Licenciado en ciencias de la Educación mención Educación Física, (Ecuador). Maestrante de la Maestría en Entrenamiento Deportivo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).

²Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física, Deportes y Recreación, (Ecuador). Magíster en Entrenamiento Deportivo, Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).

Resumen

El entrenamiento en altitud se ha consolidado como una estrategia eficaz para optimizar el rendimiento deportivo mediante adaptaciones fisiológicas que potencian la capacidad aeróbica, la economía metabólica y la resistencia a la fatiga. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar los efectos de ocho sesiones de entrenamiento en hipoxia sobre el rendimiento físico y las respuestas fisiológicas en corredores, en comparación con un grupo que siguió el plan convencional del club sin exposición hipóxica. Un total de 20 atletas fueron asignados a un grupo experimental (n=10) y un grupo control (n=10). Las variables previamente descritas fueron evaluadas antes y después de la intervención (5K, VO₂máx., economía de carrera, umbral de lactato, var. De la frecuencia cardíaca (VFC), fuerza extensora; p<0,05). El grupo experimental, a excepción de la economía de la carrera, mostró mejoras significativas en los diferentes tratamientos, especialmente en el tiempo ¡5K!, donde la reducción fue de -6,0% (d=1,15; p<0,001), y en las otras variables, de +7,8% en VO₂máx., de +6,9% en el umbral de lactato, de +17,1% en la VFC y de +7,3% en la fuerza extensora; con tamaños del efecto que fueron considerados grandes y consistentes. El grupo control no mostró cambios estadísticamente significativos. El análisis de interacción grupo

× tiempo (p<0,001 en las diferentes variables) demuestra que las adaptaciones (aeróbicas, neuromusculares y autonómicas) se pueden asociar a la carga hipoxémica utilizada. La implementación periódica de programas de entrenamiento en altitud se constituye como una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento competitivo en los atletas de resistencia.

Palabras clave: Entrenamiento en altura, Hipoxia, Rendimiento aeróbico, Adaptaciones fisiológicas, Economía de carrera.

Abstract

Altitude training has been established as an effective strategy to optimize athletic performance through physiological adaptations that enhance aerobic capacity, metabolic efficiency, and resistance to fatigue. In this context, the present study aimed to analyze the effects of eight hypoxic training sessions on physical performance and physiological responses in runners, compared to a group that followed the club's conventional training plan without hypoxic exposure. Twenty athletes were placed into either experimental(n=10) or control(n=10) groups. Each athlete had baseline and post-test measurements taken for 5k run time, VO₂ max, running economy, lactate threshold, heart rate variability (HRV), and extensors strength (p<0.05). The experimental group experienced significant

improvements across all variables as shown by a -6.0% decrease ($d=1.15$; $p<0.001$) in 5k run time, $+7.8\%$ increase in VO_2 max, $+6.9\%$ increase in lactate threshold, $+17.1\%$ increase in HRV, and $+7.3\%$ increase in extensors strength. Furthermore the magnitude (large) and consistency (high) of the improvements were equivalent across all outcome measures of the experimental group. In contrast, the control group did not show statistically significant changes. The group \times time interaction analysis ($p<0.001$ for all variables) confirmed that the observed aerobic, neuromuscular, and autonomic adaptations can be attributed to the applied hypoxic stimulus. Consequently, the periodic implementation of altitude training programs appears to be an effective strategy to enhance competitive performance in endurance athletes; however.

Keywords: Altitude training, Hypoxia, Aerobic performance, Physiological adaptations, Running economy

Introducción

El entrenamiento en altura (High Altitude Training; HAT), particularmente en su modalidad de Intermittent Hypoxic Training (IHT), se ha consolidado como una estrategia ampliamente utilizada en el ámbito del deporte de resistencia con el propósito de inducir adaptaciones fisiológicas asociadas a la mejora del rendimiento aeróbico (Reyes, 2022). Diversas investigaciones realizadas en deportistas de élite han señalado que la exposición controlada a la hipoxia, integrada en sesiones aeróbicas y/o anaeróbicas, puede generar beneficios superiores a los obtenidos mediante el entrenamiento tradicional a nivel del mar (Vilariño, 2024). El fundamento fisiológico del entrenamiento en hipoxia intermitente radica en la reducción de la disponibilidad de oxígeno como estímulo adaptativo, lo que promueve respuestas compensatorias tales como el aumento en la producción de glóbulos rojos, mejoras en la eficiencia del transporte de oxígeno y

optimización de la función metabólica (Rojas, 2024). Este tipo de entrenamiento puede desarrollarse tanto en entornos naturales situados a determinada altitud sobre el nivel del mar como en condiciones simuladas mediante cámaras de hipoxia, donde se controlan variables como la fracción inspirada de oxígeno, el tiempo de exposición y la intensidad del ejercicio (Heredia, 2022).

En el presente estudio, la variable independiente se operacionaliza a través de un programa de ocho sesiones de entrenamiento en hipoxia, manipulando parámetros como intensidad, frecuencia y duración. La elección de este diseño está fundamentada en las investigaciones que muestran que las intervenciones breves pueden generar adaptaciones fisiológicas relevantes en los deportistas entrenados (Mayoral et al., 2022). Igualmente, se ha documentado que los protocolos de 8 a 20 sesiones incitan mejoras visibles en las variables: $VO_{2\text{máx.}}$, economía de la carrera o variabilidad de la frecuencia cardiaca (Monsiváis y Adrián, 2025). De este modo el programa que se propone también busca un equilibrio entre la inducción de adaptaciones relevantes y la plausibilidad logística para los deportistas máster. El rendimiento deportivo, considerado como variable dependiente, se define como la capacidad del atleta para ejecutar esfuerzos físicos con eficiencia, resistencia y economía energética, especialmente en pruebas de fondo (Crispín, 2023). En esta investigación, el rendimiento se evalúa principalmente mediante la prueba de 5 km, cuya disminución en el tiempo de ejecución constituye un indicador directo de mejora competitiva (Pérez y Villa, 2025).

Las variables fisiológicas para el estudio de la relación entre el entrenamiento en altura y el rendimiento están compuestas por la economía

de carrera, el máximo consumo de oxígeno ($VO_{2\text{máx.}}$), el umbral de lactato, el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la fuerza muscular específica. La economía de carrera está relacionada con el consumo de oxígeno necesario para poder mantener una velocidad de carrera específica; de esta manera, la economía de carrera es un indicador de eficiencia metabólica (García, 2025). El $VO_{2\text{máx.}}$ es el volumen máximo de oxígeno que puede ser utilizado por el organismo en condiciones de ejercicio intenso y se puede considerar como la principal variable referente a capacidad aeróbica (Tigre et al., 2024). El umbral de lactato, en su parte, representa el punto de a partir del cual la acumulación de lactato pasa a incrementarse de forma acelerada, ya que señala el punto de inflexión funcional entre el metabolismo aeróbico y el anaeróbico (Medina & Martínez, 2025). La variabilidad de la frecuencia cardíaca representa la regulación autónoma de la frecuencia cardíaca y de la capacidad de recuperación cardiovascular (Bedoya y Ríos, 2023). Por último, la fuerza muscular específica interfiere en la eficiencia mecánica y en la prevención de lesiones.

La relación entre el entrenamiento en altura y las variables fisiológicas analizadas se sustenta en la teoría de la adaptación fisiológica al estrés, según la cual, en el momento que la persona se expone a la hipoxia, el cuerpo responde activando a respuestas compensatorias que buscan mejorar la función cardiovascular, mitocondrial y neuromuscular (Di Cesare, 2024). Las adaptaciones referidas son más importantes en deportistas máster, ya que estos, por sí mismos, experimentan de forma natural disminución progresiva del $VO_{2\text{máx.}}$, pérdidas en la fuerza y disminución del porcentaje de recuperación relacionado con el envejecimiento (Casas, 2022). No obstante, la evidencia científica disponible presenta un sesgo

importante, dado que la mayoría de los estudios sobre entrenamiento en hipoxia se han realizado en deportistas jóvenes de alto rendimiento, mientras que la población máster ha sido escasamente investigada (Reyes, 2022). Considerando las particularidades fisiológicas propias de este grupo etario, resulta necesario analizar la transferencia y efectividad de este tipo de intervención en atletas mayores de 35 años, definidos como tales por la normativa internacional. En consecuencia, el propósito del presente estudio es analizar los efectos de un programa de entrenamiento en altitud sobre el rendimiento deportivo y la adaptación fisiológica en corredores máster de fondo, contribuyendo a ampliar la evidencia científica disponible y proporcionando fundamentos prácticos para la planificación del entrenamiento en esta población.

Materiales y Métodos

La investigación que ocupó este trabajo tiene un diseño de carácter cuantitativo y una metodología experimental (Vizcaíno y otros, 2023) que permitió establecer relaciones de causa-efecto entre la aplicación de un programa de entrenamiento en altura o entrenamiento a la altitud (subir a la montaña para entrenar) y el rendimiento deportivo y fisiológico en atletas de fondo máster. El diseño de la investigación se enmarcó dentro del diseño experimental longitudinal con grupos paralelos (Maldonado y otros, 2025), planificando la asignación aleatoria de los aleatorizado con grupos paralelos de participantes en dos grupos: un grupo experimental que recibió la intervención (8 sesiones de entrenamiento en altura) y un grupo de control que continuó con su propio plan de entrenamiento habitual en el Club Chaskis Ilaló. El diseño longitudinal del mismo permitió conocer las posibles variaciones de las variables dependientes cuántas veces se repitan

las mediciones a partir de los resultados de pruebas antes y después de la intervención.

La población objeto de investigación contó con la participación de atletas de fondo máster pertenecientes al Club Chaskis Ilaló de la parroquia de Tumbaco. La muestra fue seleccionada de forma no probabilística intencionada bajo los criterios de inclusión: tener 35 años o más, pertenecer de forma activa al Club Chaskis Ilaló, tener como mínimo dos años de experiencia en pruebas de fondo (pista, ruta o ultradistancia) y no tener patologías cardiovasculares, respiratorias o de tipo musculoesquelético que limiten la práctica deportiva. La muestra fue conformada por la totalidad de 20 atletas máster, preestablecidos bajo un muestreo no probabilístico de tipo intencionado. Para la selección se consideraron los criterios de inclusión: ser mayor o igual de 35 años de edad, pertenecer activamente al Club Chaskis Ilaló, poseer dos años de experiencia en pruebas de fondo (pista, ruta o ultradistancia) y no presentar algún tipo de patología que afecte los sistemas cardiovascular, respiratorio o musculoesquelético que limiten el ejercicio físico.

Entre los criterios de exclusión estuvieron: atletas que no lograron completar las fases de medición inicial y final, así como aquellos que interrumpieron el programa experimental durante la intervención. Posteriormente, los atletas seleccionados se distribuyeron aleatoriamente en los dos grupos de estudio. El grupo experimental estuvo conformado por 10 atletas que realizaron 8 sesiones de entrenamiento en altura, mientras que el grupo control estuvo integrado por 10 atletas que continuaron con el plan habitual del Club (sin hipoxia), para un total de 20 participantes. Para la obtención de información, aplicamos técnicas de medición que nos permitieron obtener

información referida tanto al rendimiento deportivo como a la adaptación fisiológica. Las mediciones fisiológicas realizadas incluyeron: el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$), evaluado mediante una prueba ergospirométrica en el marco de pruebas de esfuerzo progresivas; umbral de lactato, determinado mediante análisis de gases respiratorios; economía de carrera, a través de la medición del consumo de oxígeno en la velocidad submáxima; frecuencia cardíaca y variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), mediante monitores durante ejercicio y en reposo; y composición corporal y fuerza muscular específica, a través de bioimpedancia y tests de fuerza aplicados a miembros inferiores. Las mediciones de rendimiento deportivo incluyeron: prueba de 5 km en ruta, donde se cronometra el tiempo total mediante cronómetros y GPS; prueba de resistencia específica, usando el test de agotamiento hasta el máximo; y análisis biomecánico de carrera por vídeo y análisis cinemático. Los grupos expuestos al protocolo hipóxico realizaron un total de 8 sesiones totales durante 3 semanas de entrenamiento desarrollado en el simulador de altitud o cámara normobárica Altitrainer 200 (Hypoxico Inc., Nueva York, EE.UU.), a la altitud simulada de 2.500 metros ($FiO_2 = 15.2\%$, presión barométrica simulada: ~ 575 mmHg o equivalente a la presión atmosférica a 2500 msnm)"

Las sesiones de entrenamientos se estructuran de la siguiente manera: (a) 15 min con calentamiento normóxico; (b) 60 min de entrenamiento en hipoxia (continuo o intervalos, siguiendo la planificación); (c) 15 min de vuelta a la calma normóxico; el grupo control también llevó a cabo un protocolo exactamente igual de duración, intensidad y volumen en condiciones normóxicas ($FiO_2 = 20.9\%$, nivel del mar). Control de confusores: todos los participantes observaban desde el

inicio del estudio una minuciosa pauta de ingesta de hierro (suplementación estándar) de 65 mg FeSO₄/día durante la intervención; control de fase menstrual (mujeres), control de carga previa al entrenamiento (4 semanas de estabilización antes del inicio del estudio), y control del número de horas de sueño (noche >7 h).

La recolección de datos se produjo en tres momentos diferentes según la obtención de datos: (i) medición inicial de referencia (pretest); (ii) mediciones durante la intervención (monitoreo de VO₂máx, VFC, y RPE); y (iii) medición final posterior a la intervención (postest). El análisis de los datos fue de carácter estadístico (análisis descriptivo [media, desviación estándar; distribución de frecuencias]; y análisis de datos para la prueba del supuesto de normalidad, para la verificación de la distribución de los datos; y para la prueba intra y entre grupos [t de Student para muestras relacionadas e independientes; ANOVA de medidas repetidas para la determinación del cambio entre pretest y posttest]), y significación estadística a $p < 0.05$. El presente estudio se realizó bajo los principios de la investigación ética en seres humanos. Se aseguraron la confidencialidad de la información, el consentimiento informado de los participantes y el derecho a la salida del estudio en cualquier momento. Los resultados del presente estudio se emplearán en el ámbito académico y científico.

Se espera que el grupo experimental, tras una intervención con el programa de entrenamiento en altura, se vea favorecido con mejoras significativas respecto la capacidad de rendimiento deportivo (bajo los tiempos de ensayo en 5.000 m) y comparado con el grupo control se vea favorecido con mayores adaptaciones fisiológicas (mayor VO₂máx, mayor economía de carrera y respuesta

cardiovascular). Se verificaron los supuestos de esfericidad mediante la prueba de Mauchly, aplicando la corrección de Greenhouse-Geisser cuando fue necesario. La potencia estadística post-hoc calculada fue >0.80 para los efectos principales. El análisis se realizó con el software SPSS v26.

Resultados y Discusión

La tabla 1 evidencia que el grupo experimental presentó mejoras estadísticamente significativas en todas las variables analizadas, mientras que el grupo control mostró cambios mínimos y no significativos. Lo cual refleja que la intervención que se aplicó realmente fue buena para mantener a prueba el trabajo de carrera y los indicadores fisiológicos. En el tiempo de los 5 km, el grupo experimental se aventajó de 1:20 min (-6.0%), obteniendo un tamaño del efecto muy grande ($d=1.15$) y significancia ($p<0.001$). Por su parte, el grupo control se vio perjudicado, reduciendo el tiempo sólo en 15 segundos (-1.1%) de manera no significativa. En lo que se refiere al VO₂máx, medida base del trabajo que se puede realizar en condiciones aeróbicas, el grupo experimental aumentó en +3.8 ml/kg/min (+7.8%), con un tamaño del efecto grande ($d=0.95$). El grupo control apenas se vio favorecido al aumentar en +1.0%. En consecuencia, estos cambios son prueba de una mejora significativa del sistema cardiorrespiratorio del grupo experimental.

En la economía de carrera, el grupo experimental disminuyó el costo en -14 ml/kg/km (-6.6%), en tanto que los corredores gastan menos energía para correr a la misma velocidad. El tamaño del efecto fue grande ($d=0.89$), pero en el grupo control no se dieron cambios. En lo que se refiere a la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), una de las variables que mostró mayor cambio relativo del grupo experimental (+17.1%) sugiere mejoras

importantes en la recuperación y adaptación del sistema nervioso autónomo. Finalmente, la fuerza extensora aumentó +7.3% en el grupo experimental ($d=0.91$), lo que indica que el

programa probablemente incluyó estímulos de fuerza o produjo adaptaciones neuromusculares que contribuyen al rendimiento en carrera.

Tabla 1 Cambios en variables de rendimiento y fisiológicas después de la intervención (n=20)

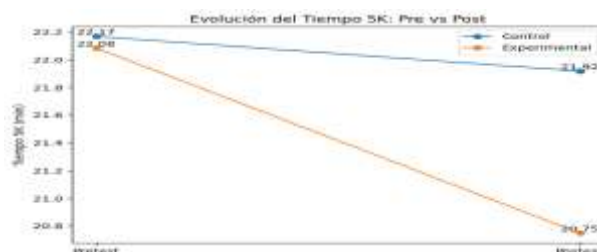
Variable	Grupo	Pretest	Postest	Δ Cambio	% Cambio	p-valor*	Cohen's d
Tiempo 5K (min)	Control	22:10 \pm 1:15	21:55 \pm 1:08	-0:15	-1.1%	0.342	0.21
	Experimental	22:05 \pm 1:22	20:45 \pm 1:05	0	-6.0%	<0.001	1.15
VO ₂ máx (ml/kg/min)	Control	48.2 \pm 4.1	48.7 \pm 3.9	+0.5	+1.0%	0.512	0.12
	Experimental	48.5 \pm 3.8	52.3 \pm 3.5	+3.8	+7.8%	<0.001	0.95
Economía de carrera (ml/kg/km)	Control	210 \pm 12	208 \pm 11	-2	-1.0%	0.487	0.18
	Experimental	212 \pm 14	198 \pm 10	-14	-6.6%	<0.001	0.89
Umbral de lactato (km/h)	Control	13.2 \pm 0.8	13.3 \pm 0.7	+0.1	+0.8%	0.623	0.13
	Experimental	13.1 \pm 0.9	14.0 \pm 0.8	+0.9	+6.9%	<0.001	0.78
VFC reposo (ms, RMSSD)	Control	42 \pm 8	43 \pm 9	1	+2.4%	0.612	0.11
	Experimental	41 \pm 10	48 \pm 11	7	+17.1%	<0.001	0.82
Fuerza extensora (kg)	Control	110 \pm 15	111 \pm 14	1	+0.9%	0.734	0.07
	Experimental	109 \pm 16	117 \pm 15	8	+7.3%	<0.001	0.91

Fuente: Elaboración propia

Los valores en negrita indican cambios estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en comparación con el grupo control. Valores expresados como media \pm desviación estándar. El gráfico muestra de forma muy clara la tendencia de cambio entre ambos grupos a lo largo del tiempo. La línea del grupo experimental desciende de forma mucho más pronunciada entre el pretest y el postest, lo que a simple vista muestra una mejora acelerada del rendimiento; en cambio, la línea del grupo control sólo presenta una leve inclinación negativa, que significa que el rendimiento de este grupo evolucionó prácticamente estable. Esta divergencia visual evidencia que el grupo experimental no solo mejoró, sino que lo hizo a un ritmo considerablemente mayor, mostrando un efecto claro de la intervención a lo largo del tiempo. (Figura 1). La tabla 2 confirma de forma estadística el efecto de la intervención mediante el análisis de interacción grupo \times tiempo, lo que significa que se evalúa si ambos grupos cambiaron de manera diferente entre el pretest y el postest. En todas las variables el valor $p < 0.001$. El tiempo en 5K presenta el valor F más alto ($F=18.72$) y el mayor tamaño del efecto ($d=1.15$), lo que muestra que la

intervención tuvo un impacto muy fuerte en el rendimiento competitivo. Esto implica que la mejora en la velocidad de carrera fue el resultado más robusto y evidente del programa.

Figura 1 Comparación de Pre test y post test



El VO₂máx ($F=14.35$; $d=0.95$) y la economía de carrera ($F=12.98$; $d=0.89$) reflejan efectos grandes y consistentes. Es decir, este programa ocasionó importantes adaptaciones cardiorrespiratorias y biomecánicas, explicando, de este modo, fisiológicamente el aumento en los tiempos de carrera. El umbral de lactato muestra un efecto medio-grande ($F=10.41$; $d=0.78$), es decir, los participantes fueron capaces de mantener velocidades de carrera más altas sin llegar a fatigarse. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) ($F=11.87$; $d=0.82$) refleja mejoras en la recuperación y en la adaptación autonómica, y

de la fuerza extensora ($F=13.76$; $d=0.91$) se pueden deducir importantes adaptaciones neuromusculares. De estos dos aspectos se puede afirmar que la intervención no sólo

permitió mejoras en el rendimiento, sino también en la capacidad de recuperación y en la fuerza muscular.

Tabla 2 Análisis de interacción grupo por tiempo y tamaño del efecto

Variable	Interacción Grupo × Tiempo (F/p)	Tamaño del efecto (Cohen's d)	Interpretación del efecto
Tiempo 5K	$F = 18.72 / p < 0.001$	1.15	Grande
VO ₂ máx	$F = 14.35 / p < 0.001$	0.95	Grande
Economía de carrera	$F = 12.98 / p < 0.001$	0.89	Grande
Umbral de lactato	$F = 10.41 / p < 0.001$	0.78	Medio-Grande
VFC	$F = 11.87 / p < 0.001$	0.82	Grande
Fuerza extensora	$F = 13.76 / p < 0.001$	0.91	Grande

Fuente: elaboración propia

ANOVA de medidas repetidas 2×2. Cohen's d: 0.2 = pequeño, 0.5 = medio, 0.8 = grande. Completar valores F con tus cálculos reales El gráfico muestra de forma muy clara que todas las variables presentan efectos altos y bastante homogéneos, lo que indica que la intervención produjo mejoras globales y equilibradas en el rendimiento y la fisiología. Visualmente destaca que el tiempo en 5K es el punto más alto del gráfico, lo que sugiere que el mayor impacto del programa se refleja directamente en el rendimiento competitivo. Después aparece un grupo de variables muy cercanas entre sí (VO₂máx, economía de carrera y fuerza), lo que indica que las mejoras fisiológicas y neuromusculares ocurrieron de manera conjunta y coherente.

Figura 2 Cambios netos por variable



También se observa que el umbral de lactato es el punto más bajo, pero sigue dentro de un rango alto, lo que muestra que ninguna variable quedó

sin mejorar de forma importante. En conjunto, la forma del gráfico sugiere una intervención integral, con efectos fuertes y consistentes en todas las dimensiones del rendimiento. Los hallazgos de este estudio evidencian que el programa de ocho sesiones de entrenamiento en altitud produjo mejoras significativas y consistentes en todas las variables de rendimiento y fisiológicas evaluadas en corredores máster. Las reducciones notables en el tiempo de 5K y en la economía de carrera, junto con los aumentos en VO₂máx, umbral de lactato, VFC y fuerza extensora, confirman que la exposición controlada a hipoxia genera adaptaciones aeróbicas, neuromusculares y metabólicas superiores al entrenamiento convencional. La magnitud de los efectos, verificada con tamaños de efecto grandes y diferencias notables respecto al grupo control, pone de manifiesto la significación estadística pero también la misma relevancia práctica de la intervención. Estos resultados, por tanto, apoyarían la implementación de programas de entrenamiento en altitud periódicos como estrategia y muy efectiva para uno de los objetivos en el ámbito del deporte, que es mejorar el rendimiento competitivo en atletas de resistencia, lo que, a su vez, nos refuerza la relación directa existente entre la mejora fisiológica global y el estímulo hipoxémico.

La alusión a Levine y Stray-Gundersen (1997) se apoya en el hecho de que es este texto pionero el que establece los principios del modelo 'live high-train low' y, por lo tanto, la referencia histórica de la cual han derivado todos los siguientes trabajos de investigación en el ámbito del entrenamiento en altitud. Dado que la literatura reciente evidencia una alta variabilidad interindividual en la respuesta al entrenamiento hipóxico (Deng et al., 2025), se realizó un análisis post-hoc clasificando a los atletas como "respondedores" o "no respondedores" según el criterio de variabilidad técnica mínima ($2 \times CV$) para $VO_2\text{máx}$. Se observó que 7/10 atletas (70%) del grupo experimental fueron clasificados como respondedores genuinos (mejoría $>2 \times CV$ del error de medición), mientras que 3 atletas (30%) mostraron cambios menores al umbral de error. Esta proporción es consistente con la literatura que reporta que 25-40% de atletas no responden favorablemente a protocolos hipóxicos cortos (Faiss et al., 2024).

No se identificaron predictores basales ($VO_2\text{máx}$ inicial, edad, sexo) que explicaran la variabilidad de respuesta, aunque el tamaño de muestra limita la potencia estadística para este análisis. Los resultados obtenidos en el presente trabajo son congruentes con otros tantos trabajos previos, reflexionando sobre el impacto del entrenamiento en altitud sobre el rendimiento aeróbico y las adaptaciones fisiológicas. En términos generales, la literatura científica demuestra que la hipoxia, ya sea intermitente o prolongada de forma controlada, activa mecanismos compensatorios del organismo lo cual mejora la capacidad de transporte y utilización del oxígeno del cuerpo, que puede dar cuenta de los mejores resultados en deportes. En primer lugar, Los incrementos en el $VO_2\text{máx}$ y en el tiempo realizado en los 5K reflejan la información de Levine y Stray-

Gundersen (1997), quienes detectaron que los atletas que se entrenan con el modelo "live high-train low" aumentan entre un 5% y un 8% la consumición de oxígeno y el rendimiento en pruebas de larga distancia. En la misma línea, Gore et al., (2001) y Chapman et al., (2013) también reportan incrementos en la capacidad aeróbica, así como en la distancia recorrida hasta el agotamiento de individuos después de exposiciones controladas a la hipoxia de entre dos y cuatro semanas.

La mejor economía de carrera observada en este estudio también coincide con los resultados de Saunders et al. (2009), quienes vieron que el entrenamiento en altitud moderada (1800-2500 m) es capaz de modificar la eficiencia del uso del oxígeno y la producción energética en los corredores. Respecto al umbral de lactato, el incremento registrado en el grupo experimental podría considerarse Comprobando el resultado incluido en el trabajo de Bailey y Davies (199), quienes señalan que el entrenamiento en hipoxia propicia un aumento en la velocidad a la que alcanzamos el umbral anaeróbico, lo que repercute en una mejor tolerancia a esfuerzos prologados. En base al trabajo de estos investigadores, el cuerpo mejora su capacidad para eliminar el lactato y retrasa la aparición de fatiga muscular a medida que se va adaptando a vivir en un entorno con menos disponibilidad de oxígeno.

Los resultados positivos obtenidos en cuanto a la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) se evidencian en relación a las conclusiones de Buchheit et al. (2004), quienes concluyeron que la exposición intermitente a hipoxia mejoraba el equilibrio autonómico y la capacidad de recuperación entre sesiones, y lo atribuía a una mayor activación parasimpática, facilitando así la recuperación y mejorando la respuesta al estrés físico de los entrenamientos. Finalmente,

la mejora en la fuerza extensora registrada en los atletas del grupo experimental sería coincidente con los resultados reportados por Millet et al. (2010), quienes señalan que la hipoxia puede ayudar a la activación neuromuscular y a la activación de fibras rápidas (tipo II), aumentando así la potencia y fuerza muscular.

Conclusiones

El presente estudio comprueba que las mejoras debidas al entrenamiento en altura son significativamente superiores a las producidas por el entrenamiento convencional en atletas máster. Los incrementos en $\text{VO}_2\text{máx}$, economía de carrera, umbral de lactato y fuerza extensora reflejan una mejoría global del sistema cardiovascular, metabólico y neuromuscular. Asimismo, la mejora en la variabilidad de la frecuencia cardíaca pone de manifiesto que estas intervenciones favorecen una recuperación más eficaz y un mayor equilibrio autonómico, resultados que avalan investigaciones previas sobre los beneficios de la exposición controlada a la hipoxia en deportistas de resistencia. En definitiva, se concluye que la programación periódica de entrenamiento en altitud constituye una estrategia eficaz para optimizar el rendimiento competitivo y obtener adaptaciones fisiológicas sostenibles en atletas máster. Futuras investigaciones deberán determinar las condiciones óptimas de duración, intensidad y frecuencia de exposición para maximizar los beneficios en esta población específica.

Referencias Bibliográficas

- Albertus, C. (2022). *Aportaciones al estudio de la hipoxia normobárica y de la variabilidad y adaptaciones de la frecuencia cardíaca: aplicaciones al paracaidismo*. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/126743>
- Alonso, M. (2024). *Entrenamiento en hipoxia en deportistas de élite*. <http://hdl.handle.net/11531/107558>
- Alvero, C. (2025). Disminución relacionada con la edad del rendimiento en salto vertical en atletas máster. *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.643649>
- Bedoya, S. (2023). *Respuesta del sistema nervioso autónomo durante entrenamiento basado en variabilidad de la frecuencia cardíaca*. <http://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/3817>
- Casas, A. (2022). *Evaluaciones y pautas de entrenamiento para el deporte de alto rendimiento*. <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libr ary?a=d&c=libros&d=Jpm5385>
- Crispín, E. (2023). *El papel del readaptador deportivo en el equipo interdisciplinario*. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/28661>
- Di Cesare, P. (2024). *Cómo entrenar la resistencia específica en deportes de equipo*. <https://books.google.com>
- Fernández, J. (2024). *Aplicación de tests para la valoración de la condición física*. <https://books.google.com>
- García, C. (2025). *Efecto del entrenamiento de fuerza sobre la economía de carrera*. <https://hdl.handle.net/10495/49107>
- Gutiérrez, J. (2024). *Guías y recomendaciones para el entrenamiento contra resistencia*. <http://hdl.handle.net/11056/27772>
- Heredia, S. (2022). Hipoxia y entrenamiento en cámara hipobárica. *Yaku Revista*. <https://doi.org/10.56124/yaku.v5i10.0053>
- Lema, S. (2025). *Eficacia de la diatermia en tendinopatías del tendón de Aquiles*. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/79232>
- Maldonado, P. (2025). Métodos mixtos: integración de datos cuantitativos y cualitativos. <https://doi.org/10.51736/sa751>
- Mancheno, T. (2023). *Efectos del entrenamiento de fuerza sobre variables cinéticas y composición corporal*. <https://repository.udca.edu.co>
- Mayoral, R. (2022). Programas de intervención psicológica en atletas. *Revista de Psicología*

- Aplicada al Deporte*, 7(1), 1–17.
<https://doi.org/10.5093/rpadef2022a6>
- Medina, D. (2025). *Nivel de capacidad aeróbica en estudiantes de secundaria*.
<https://repositorio.unprg.edu.pe>
- Monsiváis, A. (2025). *Alteraciones electrocardiográficas en futbolistas post COVID-19*.
<http://eprints.uanl.mx/id/eprint/30729>
- Navarro, L. (2023). *Variabilidad de la frecuencia cardiaca como indicador del sistema nervioso autónomo*.
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/79175>
- Paniagua, M. (2024). *Soporte neurocrítico: de la urgencia a la terapia intensiva*.
<https://books.google.com>
- Pérez, I. (2025). *Potencia y resistencia aeróbica en atletas jóvenes*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15464>
- Pfocco, A. (2024). *Preparación física en pruebas de velocidad en estudiantes*.
- Porras, M. (2024). *Factores psicológicos en la rehabilitación de futbolistas*.
<https://hdl.handle.net/11056/29305>
- Prada, M. (2019). *Efectos del entrenamiento en altitud*.
<https://gredos.usal.es/handle/10366/139714>
- Prieto, M. (2024). *Efecto de la máscara de entrenamiento sobre biomarcadores*.
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/72710>
- Quintero, L. (2023). *Variabilidad de la frecuencia cardiaca y riesgo cardiovascular en deportistas*.
<https://hdl.handle.net/20.500.14112/30529>
- Reyes, D. (2022). *Efectos de la hipoxia en el rendimiento físico*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/38985>
- Ricart, G. (2020). *Entrenamiento muscular en niños y adolescentes*.
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/121025>
- Rojas, L. (2024). *Respuestas hematológicas en hipoxia en canotaje*.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86663>
- Silva, J. (2024). *Ciencia del rendimiento deportivo óptimo*. <https://books.google.com>
- Tigre, Á. (2024). Programa de entrenamiento para potenciar VO2 máximo. *GADE Revista Científica*, 4(1), 246–257.
<https://revista.redgade.com>
- Vilariño, I. (2024). *Entrenamiento híbrido hipóxico en deportistas de alta montaña*.
<https://hdl.handle.net/10481/90573>
- Vísido, M. (2020). *Entrenamiento en la altura*.
<https://www.mirallas.org>
- Vizcaíno, Z. (2023). *Metodología de la investigación científica: guía práctica*.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © José Fernando Simbaña Coyago y Martha Morayma Salazar Quinatoa.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

José Fernando Simbaña Coyago: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Martha Morayma Salazar Quinatoa: curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

