

El sprint en la resistencia anaeróbica láctica en boxeadores de la categoría prejuvenil

The sprint in lactic anaerobic endurance among boxers in the pre-junior category

-Fecha de recepción: 31-07-2026 -Fecha de aceptación: 03-09-2026 -Fecha de publicación: 21-09-2026

Orly Anthony Siquihua Chimbo
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
orly.siquihua@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-9409-0594>

Alexis Eliecer Cuji Llongo
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
alexis.cuji@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-3159-3696>

Henry Rodolfo Gutiérrez Cayo
Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador
hgutierrez@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9608-1372>

Resumen

El presente trabajo analiza la dinámica metabólica y la respuesta neuromuscular en el boxeo amateur formativo, donde las exigencias competitivas de alta intensidad demandan una adecuada dosificación de las cargas físicas. En este contexto, el objetivo de la investigación es evaluar el impacto de un programa de entrenamiento basado en sprints sobre la resistencia anaeróbica láctica en boxeadores pertenecientes a la categoría prejuvenil. Para dar cumplimiento a este propósito, se estructuró una metodología fundamentada en el paradigma positivista con un enfoque cuantitativo, de alcance explicativo y correlacional, bajo un diseño cuasi-experimental y longitudinal con evaluaciones pareadas de pre-test y post-test. La intervención se desarrolló durante un macrociclo de 12 semanas, aplicando dos sesiones semanales a una muestra de tres boxeadores de 14 y 15 años de la Federación Deportiva de Chimborazo. Con ello, se demostró que el programa basado en sprints generó una activación óptima y segura de la vía glucolítica, evidenciando un incremento progresivo del lactato desde niveles basales hasta alcanzar un aumento del 68.4% respecto al reposo en la fase final (2.1 a 2.5 mmol/L). Asimismo, se halló un elevado acoplamiento metabólico-perceptivo con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.918$

entre la lactatemia y la Escala de Borg.

Palabras clave: Entrenamiento de sprints, Resistencia anaeróbica láctica, Boxeo prejuvenil, Lactatemia capilar, Fatiga neuromuscular

Abstract

This paper analyzes the metabolic dynamics and neuromuscular response in formative amateur boxing, where high-intensity competitive demands require proper physical load management. In this context, the objective of the research is to evaluate the impact of a sprint-based training program on lactic anaerobic endurance in pre-junior category boxers. To fulfill this purpose, a methodology grounded in the positivist paradigm was structured using a quantitative approach, with an explanatory and correlational scope, under a quasi-experimental and longitudinal design with paired pre-test and post-test evaluations. The intervention was carried out over a 12-week macrocycle, applying two weekly sessions to a sample of three 14- and 15-year-old boxers from the Federación Deportiva de Chimborazo. Thus, it was demonstrated that the sprint-based program generated an optimal and safe activation of the glycolytic pathway, showing a progressive increase in lactate from baseline levels to reach a 68.4% increase compared to rest in the final phase (2.1 to 2.5 mmol/L). Likewise, a high metabolic-perceptual coupling was found, with a coefficient of determination $R^2 = 0.918$ between blood lactate concentration and the Borg Scale.

Keywords: Sprint training, Lactic anaerobic endurance, Pre-junior boxing, Capillary lactate, Neuromuscular fatigue

Introducción

El boxeo amateur actual es un deporte de alta intensidad. No da tregua: los atletas deben encadenar esfuerzos máximos y supramáximos con periodos mínimos de recuperación. Cuando pasamos a la categoría prejuvenil (entre los catorce y quince años) esta exigencia metabólica se vuelve crítica. Debido a, los constantes intercambios de golpes y los desplazamientos rápidos que aceleran el desgaste (Garcia, 2022).

A este ritmo, un combate de tres asaltos de dos minutos se transforma en un desafío fisiológico severo. En un desfase metodológico recurrente, los modelos tradicionales de preparación física en el entorno local siguen priorizando el volumen aeróbico general sobre la potencia específica. Rodar durante horas a intensidad media no prepara para el ring. Esta falta de dosificación científica ignora que las acciones determinantes en los tres asaltos reglamentarios como un contragolpe decisivo, un giro defensivo o un ataque en ráfaga dependen de la energía generada por las vías anaeróbicas (Kaczmarek et al., 2025).

La vía de los fosfágenos es insuficiente cuando los asaltos se disputan a un ritmo frenético, para sostener la demanda energética más allá de los primeros diez segundos de combate continuo. Aquí es cuando la resistencia anaeróbica láctica o vía glucolítica asume el protagonismo metabólico, permitiendo la resíntesis rápida de adenosín trifosfato en ausencia de oxígeno (Salter et al., 2025) Esto genera una acumulación de iones de hidrógeno (H^+) y lactato que saturan el entorno muscular periférico del boxeador. Cuando el pH intramuscular cae bruscamente descende desde un valor de reposo cercano 7.1 hasta cifras inferiores a 6.5 durante intercambios severos, la acidez interna interfiere de forma directa en el acoplamiento excitación-contracción. Los protones compiten con los iones de calcio (Ca^{2+}) por los sitios de unión en la troponina C, lo que disminuye la formación de puentes cruzados entre la actina y la miosina (Garcia, 2022).

La aplicación sistemática de carreras de velocidad máxima o de gestos técnicos ejecutados a ritmo de sprint como ráfagas de combinaciones cortas en el saco o desplazamientos defensivos a máxima frecuencia estimula de forma directa los mecanismos de amortiguación celular (Usher y Babraj, 2025).

¿Qué ocurre exactamente a nivel tisular durante estos esfuerzos? Este tipo de estímulo interválico de alta intensidad incrementa la actividad de enzimas glucolíticas clave, como la

fosfofructocinasa y el piruvato cinasa, al tiempo que optimiza la densidad de los transportadores de monocarboxilato (específicamente las isoformas MCT1 y MCT4). Estos transportadores aceleran la salida de protones (H^+) y aniones de lactato desde el interior del miocito hacia el espacio extracelular y la circulación sanguínea, reduciendo el colapso del pH intramuscular. A la par, se potencia la capacidad de los tampones fisicoquímicos intracelulares como el bicarbonato y los grupos imidazol de los residuos de histidina en las proteínas musculares (Torma et al., 2019).

La introducción de cargas anaeróbicas lácticas en estas edades formativas exige una planificación científica debido a las particularidades biológicas de la pubertad. Donde los jóvenes experimentan el pico de velocidad de crecimiento que es un fenómeno morfológico que altera las palancas biomecánicas y la coordinación motriz. Eso no es uniforme; puesto que, los segmentos distales manos y pies crecen antes que las extremidades y el tronco, siendo una alteración repentina en la ubicación del centro de masa corporal y un cambio en los momentos de fuerza articular (Kaczmarek et al., 2025).

Para fundamentar metodológicamente este trabajo, se asume la Teoría de las Adaptaciones Metabólicas al Entrenamiento de Alta Intensidad, la cual explica el comportamiento celular ante el estrés físico extremo. Esta perspectiva teórica se complementa con los principios del desarrollo neuromuscular juvenil, los cuales defienden la viabilidad de los esfuerzos supramáximos controlados en etapas de crecimiento. Al cruzar estos enfoques, se rompe con la tendencia empírica de replicar los planes de entrenamiento de la categoría absoluta en boxeadores que aún están madurando (Kaczmarek et al., 2025)

El objetivo de la investigación es evaluar el impacto de un programa de entrenamiento basado en sprints sobre la resistencia anaeróbica láctica en boxeadores prejuveniles. La importancia de la propuesta radica en ofrecer a los entrenadores un protocolo metodológico verídico que maximice el rendimiento técnico-táctico en el tercer round (García, 2022)

Materiales y Métodos

2.1 Tipo y Enfoque de la investigación

Este documento es un Artículo de Investigación. Su estructura responde a un proceso directo de recolección y análisis de datos primarios en el terreno. El estudio se posiciona dentro del paradigma positivista cuantitativo, asumiendo que el rendimiento físico y las adaptaciones metabólicas del boxeador son fenómenos objetivos. Es decir, se pueden medir externamente y evaluar con estadística para aislar variables extrañas y encontrar relaciones de causa reales.

Si nos basamos en la clasificación metodológica de Ruddock et al. (2021) el tipo de investigación que sirvió de base para este artículo es explicativa y correlacional. Explicativa en la medida en que no se limita a describir el estado de la resistencia anaeróbica de los púgiles, sino que busca determinar las relaciones de causa y efecto subyacentes entre el estímulo exógeno controlado (programa de sprints repetidos) y la respuesta adaptativa celular endógena (tolerancia al lactato y potencia mecánica media).

2.2 Diseño de la Investigación

El diseño metodológico adoptado es cuasi-experimental, con un enfoque longitudinal. El carácter longitudinal se justifica por el seguimiento durante un macrociclo de intervención de 12 semanas, con una dosificación de 2 sesiones semanales de 120 minutos cada una. La comparación entre el pre-test (Semana 1) y el post-test (Semana 12) permite medir el impacto del programa específico frente al modelo tradicional.

2.3 Delimitación y Caracterización de la Población Objeto de Estudio

Para la presente investigación, la población de estudio quedó constituida de forma precisa y exclusiva por la totalidad de los boxeadores varones pertenecientes a la categoría formativa prejuvenil (edades cronológicas estrictas de 14 y 15 años) que se encontraban legalmente registrados, federados y en estado de activo competitivo dentro del gimnasio de boxeo de la Federación Deportiva de Chimborazo, cuya matriz operativa y de preparación técnico-táctica se concentra de forma centralizada en las instalaciones del "Estadio Olímpico de Riobamba".

La población estaba conformada por un grupo de 12 boxeadores prejuveniles. La elección de esta población respondió a criterios de homogeneidad deportiva y biológica.

2.4 Selección de la Muestra

A través de la aplicación de criterios de inclusión, exclusión y eliminación (detallados más adelante), la muestra de análisis bioquímico e intervención profunda quedó fijada en tres (3) boxeadores prejuveniles. Esta muestra de tres atletas fue sometida de forma individualizada y longitudinal a la totalidad de las determinaciones del programa de entrenamiento basado en sprints durante un periodo de doce (12) semanas.

2.5 Criterios de inclusión

- Tener cumplidos catorce (14) o quince (15) años de edad al momento de iniciar la semana 1 de la intervención, estando encuadrados oficialmente en la categoría prejuvenil reglamentada por la Federación Ecuatoriana de Boxeo (FEB).
- Estar legalmente matriculado y registrado como deportista seleccionado de la Federación Deportiva de Chimborazo.
- Tener un tiempo mínimo de práctica sistemática y continua en la disciplina del boxeo de al menos veinticuatro (24) meses, garantizando que los patrones motores básicos de golpeo (jab, cross, gancho, uppercut) y los desplazamientos específicos estén consolidados, minimizando el error mecánico por falta de coordinación técnica rudimentaria.
- Presentar una ficha médica institucional que certifique un estado de salud óptimo, ausencia de cardiopatías concomitantes y un sistema respiratorio normo-funcional, apto para soportar cargas progresivas de esfuerzo físico de intensidad submáxima y máxima.
- Haber entregado firmado el documento de asentimiento informado por parte del menor, en conjunto con el consentimiento informado debidamente suscrito por sus padres o representantes legales, autorizando la toma de micro-muestras de sangre capilar.

2.6 Criterios de exclusión

- Atletas que hubieran sufrido lesiones músculo-esqueléticas significativas
- Deportistas en fases agudas de procesos infecciosos, afecciones respiratorias o trastornos metabólicos transitorios

- Boxeadores prejuveniles que estuvieran consumiendo de forma concomitante suplementos ergogénicos orientados a la amortiguación del pH celular

2.7 Criterios de Eliminación

- Inasistencia injustificada o justificada a más del 10% de las sesiones planificadas en el programa de sprints de doce semanas
- Negativa voluntaria del deportista o revocación del consentimiento por parte de los padres en cualquier etapa del proceso experimental.
- Sufrir una lesión traumática o enfermedad de consideración durante las doce semanas que interrumpiera la continuidad del entrenamiento

2.8 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

- **Técnica de Medición del Rendimiento Físico:** Se aplicó un test de esfuerzo específico de boxeo con protocolo escalonado fraccionado en cuatro fases progresivas de intensidad: Pre-test (Reposo), Fase Intermedia 1 (50%), Fase Intermedia 2 (55%) y Post-test (60%).
- **Técnica de Analítica Bioquímica:** Se empleó la técnica de punción capilar para la obtención de muestras sanguíneas pre y post-esfuerzo. El instrumento utilizado fue el analizador portátil de medición electroquímica Eaglenos (Eaglenos Sciences, Inc.), conFig.do específicamente mediante sus tiras reactivas de lactato (*Eaglenos iL100 blood lactate test strips*). Este instrumento requiere un volumen mínimo de muestra de 0.8 μ L de sangre entera capilar extraído del pulpejo del dedo y proporciona una lectura digitalizada en 10 segundos, operando en un rango de medición de 0.5 a 28.0 mmol/L con un nivel de precisión clínica validada del 99.1%.
- Para la evaluación de la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) se utilizó la Escala Modificada de Borg (CR-10), registrando la valoración del atleta en una escala ordinal de 0 (reposo/nada de esfuerzo) a 10 (esfuerzo máximo) al término de cada fase del protocolo.

2.9 Consideraciones éticas

Debido a que el protocolo experimental implicó la participación de deportistas menores de edad y contempló la aplicación de estímulos físicos que someten al organismo a estados controlados de

fatiga neuromuscular y respuesta metabólica acumulativa, el diseño de este estudio se blindó bajo los más altos estándares éticos y deontológicos de la ciencia médica y el deporte.

Resultados y Discusión

Se realizó el registro antropométrico básico presentado en la Tabla 1 donde se detalla el peso corporal, la talla y la frecuencia cardíaca en reposo de los boxeadores evaluados. Estos indicadores describen el perfil físico del grupo y validan que ningún púgil iniciara el protocolo con anomalías autonómicas o cardiovasculares evidentes que alteraran la respuesta al esfuerzo supramáximo.

Tabla 1

Datos fisiológicos y antropométricos iniciales de los atletas

	Peso (kg)	Talla (m)	FC Reposo (ppm)
Atletas			
Atleta 1	55.5	1.68	94
Atleta 2	56	1.62	96
Atleta 3	54.3	1.60	98

Nota. Datos antropométricos y hemodinámicos iniciales registrados en reposo previo a la aplicación del protocolo de esfuerzo supramáximo. Abreviaturas: kg = kilogramos; m = metros; FC = frecuencia cardíaca; ppm = pulsaciones por minuto. Elaboración propia.

Los datos de la Tabla 1 confirman la homogeneidad física de los tres deportistas. Esta uniformidad metodológica es indispensable para resguardar la validez interna del diseño cuasi-experimental. El análisis adquiere mayor relevancia al considerar que, a los catorce años, el organismo experimenta transformaciones morfológicas continuas que modifican de golpe los brazos de palanca y la ubicación del centro de gravedad. Este estiramiento óseo longitudinal y acelerado altera la distancia de los segmentos corporales. El fenómeno modifica directamente el momento de fuerza y el torque en las articulaciones del hombro y el codo durante la fase de aceleración del impacto. Donde como resultado una pérdida temporal de la eficiencia mecánica en gestos técnicos clave, como el golpe recto o el cruzado (Franchi et al., 2014).

Registrar similitudes en la masa corporal y la estatura iniciales permite descartar que las variaciones mecánicas en la velocidad de golpeo o en la aceleración del impacto registradas tras la intervención se deban a diferencias en la maduración ósea o a ventajas antropométricas estructurales. En la biomecánica del boxeo, el torque o momento de fuerza generado en la cadena cinética desde la extensión de las extremidades inferiores hasta la rotación del tronco y el impacto del puño, depende directamente de la longitud de los segmentos óseos y del momento de inercia de los miembros superiores (Pinto et al., 2025)

La verificación de un estado fisiológico normo-funcional en la línea base resulta crucial. Este estatus asegura que el organismo del boxeador cuente con las condiciones biológicas necesarias para tolerar las cargas de alta intensidad. Solo bajo esta estabilidad basal se activan las adaptaciones crónicas deseadas, como el incremento en la densidad y biogénesis mitocondrial mediante la vía molecular PGC-1 α . A esto se suma, el equilibrio metabólico que inicialmente facilita una resíntesis más veloz de la fosfocreatina durante las micropausas del combate (Hu et al., 2026).

De forma simultánea, el registro de la Percepción Subjetiva del Esfuerzo mediante la Escala Modificada de Borg permitió contrastar el comportamiento del marcador bioquímico con la fatiga neuromuscular percibida por el atleta en cada etapa del esfuerzo. En la Tabla 2 se detallan las concentraciones de lactato sanguíneo y los valores correspondientes de la Escala de Borg registrados en los tres boxeadores prejuveniles a lo largo de las cuatro fases del test (Pre-test reposo, Fase intermedia 1 al 50 %, Fase intermedia 2 al 55 % y Post-test al 60 %).

Tabla 2.
Promedio de la concentración de Lactato y Escala de Borg por Boxeador

Boxeadores	Parámetro	Pre-test Reposo	Fase Intermedia 1 (50%)	Fase Intermedia 2 (55%)	Post-test (60%)
Boxeador 1	Lactato (mmol/L)	1.3	1.6	1.8	2.1
	Escala de Borg	0	2	4	8
Boxeador 2	Lactato (mmol/L)	1.3	1.5	1.7	2.3

	Escala de Borg	0	1	5	8
Boxeador 3	Lactato (mmol/L)	1.5	1.7	1.9	2.5

Escala de Borg

0 3 6 9

Nota. Evolución de los niveles de lactato sanguíneo (mmol/L) y la percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg (0-10) en los tres atletas a lo largo del protocolo incremental. Se observa una respuesta fisiológica metabólica ascendente y directamente proporcional a la intensidad de las fases evaluadas. Elaboración propia

En la Tabla 2 se identifica la acumulación de lactato sanguíneo con incrementos basales de 1.3 a 1.5 mmol/L hasta alcanzar picos post-test de 2.1 a 2.5 mmol/, esto evidencia una activación progresiva de la vía glucolítica ante cargas fraccionadas de intensidad.

Sin embargo, la magnitud de la lactatemia obtenida en la categoría prejuvenil se mantiene considerablemente por debajo de los niveles masivos de acidosis (frecuentemente superiores a 10.0 mmol/L) reportados por (Franchini, 2020) en peleadores de mayor madurez competitiva. Esta discrepancia se explica porque la prueba aplicada evaluó un dominio de intensidad sub máximo (hasta el 60 %), lo cual evitó sobrecargar el entorno celular con una producción desproporcionada de protones de hidrógeno en una etapa de desarrollo biológico donde los sistemas de amortiguación metabólica aún no se encuentran plenamente consolidados.

La atenuada respuesta láctica de los púgiles analizados de David con 2.5 mmol/L, Emerson con 2.3 mmol/L y Andrés con 2.1 mmol/L, refuerza la evidencia científica previa sobre el metabolismo energético en la adolescencia. Debido a que, los deportistas en etapas formativas o puberales poseen depósitos intramusculares reducidos de glucógeno y una menor actividad de las enzimas clave de la glucólisis rápida, como la fosfofructocinasa, en comparación con los atletas adultos (Tsukamoto et al., 2023).

Por otro lado, los valores registrados en la Escala de Borg que fue entre 8 y 9 puntos demuestran una alta sensibilidad psicofisiológica en los deportistas evaluados. Pues, durante la aplicación de protocolos de sprint interválico, la percepción de fatiga neuromuscular suele elevarse de forma

desproporcionada antes de que se registren concentraciones elevadas de lactato en sangre periférica. La discrepancia entre una percepción de esfuerzo "muy duro" o "casi extremo" y una lactatemia de solo 2.5 mmol/L indicando que la fatiga percibida en el boxeador prejuvenil está predominantemente modulada por el estrés mecánico y el reclutamiento periférico de unidades motoras rápidas (Muñoz et al., 2025)

Además, el comportamiento de David que presentó 2.5 mmol/L de lactato y 9 en la escala de Borg frente a Andrés que obtuvo 2.1 mmol/L de lactato y 8 en Borg, refleja la influencia directa de la plasticidad neuromuscular y las diferencias en la eficiencia mecánica individual. Las variaciones en la longitud de las palancas óseas y la coordinación intermuscular durante el crecimiento puberal alteran significativamente el costo energético de la ejecución técnica en el cuadrilátero. Una mayor aceleración angular o una técnica de golpeo con menor economía de movimiento incrementa el gasto glucolítico y la percepción de fatiga (Macedo et al., 2025),

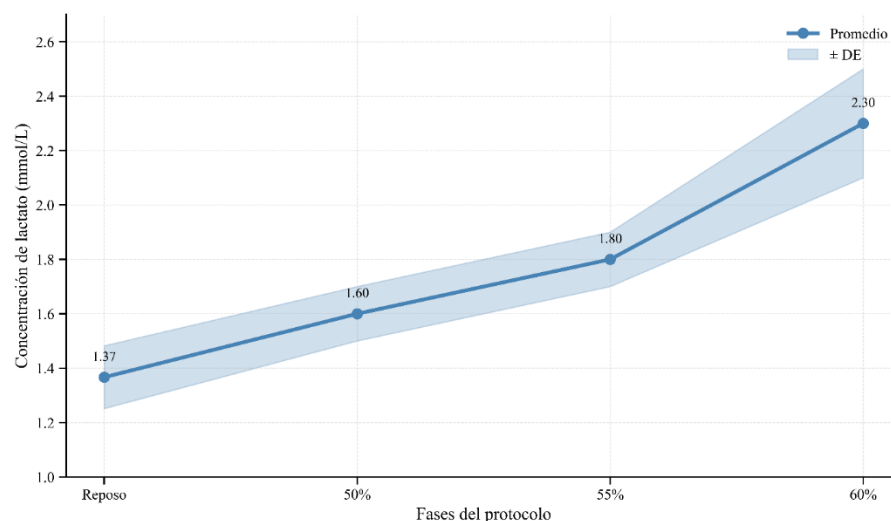


Fig. 1: Evolución de la concentración de lactato durante el protocolo

Nota. Comportamiento del promedio y desviación estándar ($\pm$ DE) de la concentración de lactato sanguíneo (mmol/L) en las distintas fases del protocolo de esfuerzo (Reposo, 50%, 55% y 60%). Elaboración propia.

La Cinética de Transición Metabólica desde el predominio de la fosfocreatina hacia la activación masiva de la glucólisis citosólica está representada por la trayectoria ascendente en la acumulación de lactato capilar (Ferretti y di Prampero, 2026) que se muestra en la Fig. 1. En la cual, se ilustra

en pendiente la tasa de recargo celular ante intensidades escalonadas en un organismo cuyas isoformas de la enzima deshidrogenasa láctica priorizan genéticamente la vía aeróbica. El hecho de que la curva mantenga una tasa de crecimiento sostenida pero moderada demuestra la influencia de la cinética de aclaramiento capilar mediada por los transportadores de monocarboxilato tipo 1 y 4 (Mandadzhiev, 2025).

En la conducta cinética de la Fig. 1 se identifica una regulación protectora contra la acidosis extrema. Se muestra una restricción autorregulada en la actividad de la fosfofructocinasa, enzima marcapasos de la glucólisis. Esta restricción enzimática evita que la concentración intracelular de protones de hidrógeno (H^+) alcance niveles críticos que inactiven de forma irreversible los puentes cruzados de actina y miosina. La pendiente de la curva válida en la que el estímulo exógeno al 60% induce el estrés metabólico preciso para generar la señalización molecular necesaria sin causar la lisis celular o el agotamiento prematuro de las reservas endógenas (Cairns y Lindinger, 2025).

Analizando la interacción biomecánica, el comportamiento del lactato reflejado en la Fig. 1 demuestra una estrecha vinculación con la pérdida progresiva de la eficiencia del ciclo estiramiento-acortamiento en los miembros superiores. A medida que el entorno celular se acidifica ligeramente, se altera la sensibilidad del retículo sarcoplásmico para la liberación y recaptación de iones de calcio (Ca^{2+}). Esta alteración microestructural prolonga el tiempo de relajación muscular entre cada golpe ejecutado en el test, lo que obliga al atleta a realizar un mayor trabajo mecánico para mantener la frecuencia de impacto (Pluteanu et al., 2025).

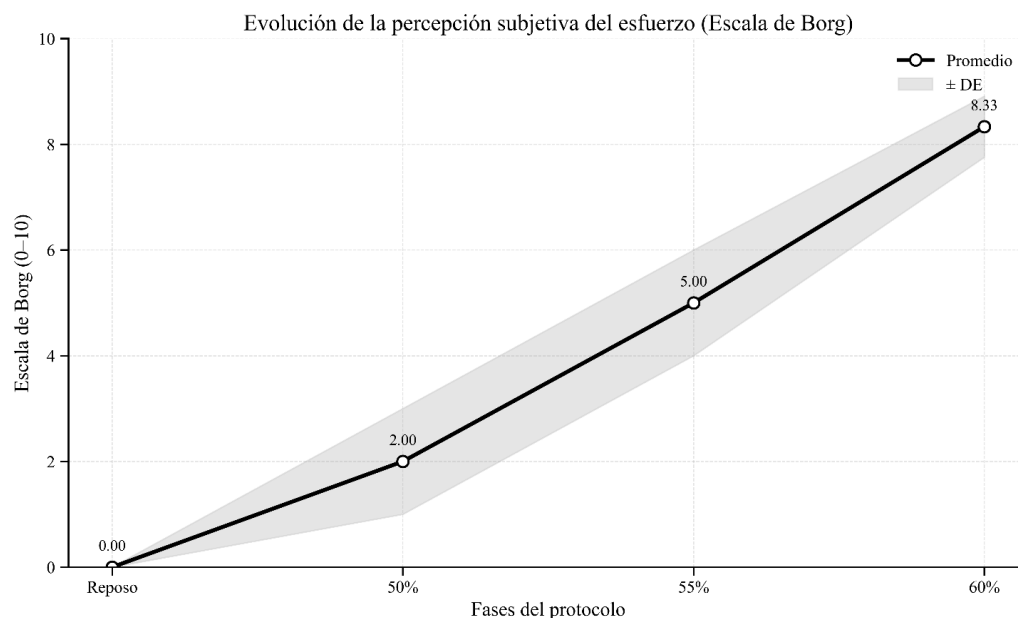


Fig. 2: Evolución de la percepción subjetiva del esfuerzo (Escala de Borg)

Nota. Evolución del promedio y desviación estándar ($\pm$ DE) de la percepción subjetiva del esfuerzo evaluada mediante la escala de Borg (0–10) en las distintas fases del protocolo de esfuerzo (Reposo, 50%, 55% y 60%).

Elaboración propia

La trayectoria lineal observada en la Fig. 2 refleja la Respuesta de Integración Central de la fatiga neuromuscular y el procesamiento psico-sensorial en la corteza insular del cerebro del deportista adolescente. La Percepción Subjetiva del Esfuerzo en la Escala de Borg sintetiza la aferencia periférica proveniente de los mecano-receptores articulares, los quimio-receptores musculares y la descarga motora del córtex motor primario (Pageaux et al., 2023).

En la Fig. 2 se pone de relieve la alta sensibilidad del sistema propioceptivo ante un reclutamiento continuado de fibras de contracción rápida. En los esfuerzos de sprint fraccionado el cerebro debe enviar impulsos eléctricos a mayor frecuencia para mantener la fuerza de impacto a medida que se van fatigando las unidades motoras iniciales. Esa necesidad de incrementar el impulso central produce una sensación mucho mayor de esfuerzo consciente (Cairns y Lindinger, 2025). En los boxeadores de 14 y 15 años, cuyo desarrollo de la corteza prefrontal aún está en proceso de maduración, esta amplificación del comando motor traducida en la Escala de Borg actúa como un mecanismo de defensa autorregulador (Çemç y Ağduman, 2024).

La combinación del lactato sanguíneo con la Escala de Borg facilita el cálculo de un modelo de regresión lineal. Este procedimiento evalúa el grado de acoplamiento metabólico-perceptivo en los boxeadores prejuveniles. Cuantificar matemáticamente esta relación es prioritario para la metodología del entrenamiento en el gimnasio. El motivo es técnico ya que permite validar si el uso de marcadores no invasivos sirve como estimador indirecto pero práctico de la acumulación de acidosis, reduciendo la necesidad de punciones capilares invasivas en las sesiones diarias de campo.

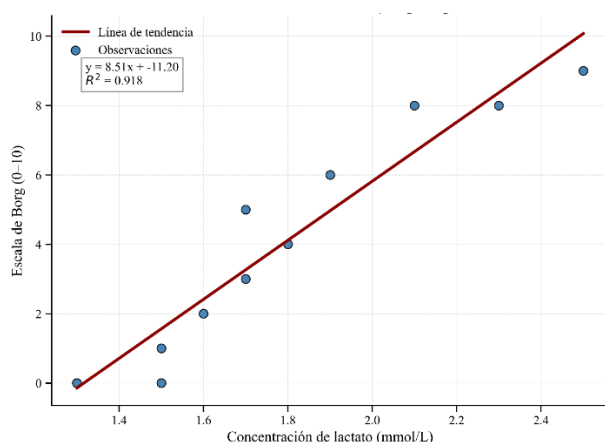


Fig. 3: *Relación entre la concentración del lactato y la percepción del esfuerzo*

Nota. Análisis de correlación de regresión lineal entre la concentración de lactato sanguíneo (mmol/L) y la percepción subjetiva del esfuerzo (Escala de Borg, 0–10). El modelo ($y = 8.51x - 11.20$, $R^2 = 0.918$).

Elaboración propia.

La Fig. 3 presenta un análisis de dispersión y regresión lineal de alto impacto científico al demostrar un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.918$, lo que establece un acoplamiento metabólico-perceptivo excepcionalmente alto. La ecuación de regresión ($y = 8.51x - 11.20$) revela que por cada incremento de 1.0 mmol/L en la concentración de lactato sanguíneo, la percepción del esfuerzo según la Escala de Borg se eleva exponencialmente en más de 8.5 unidades. Esta pendiente tan pronunciada demuestra que en la categoría prejuvenil existe una hiper-sensibilidad del sistema nervioso periférico hacia pequeñas variaciones en la bioquímica sanguínea.

El análisis de regresión mostró una relación de $R^2 = 0.918$ entre la acumulación de lactato y la percepción del esfuerzo. Donde se destaca una disociación entre los valores de lactatemia en el post-test (2.1 – 2.5 mmol/L) y la elevada carga percibida (RPE 8–9/10 en la Escala de Borg).

La dispersión de datos en la Fig. 3 revela cómo la ineficiencia técnica y la rigidez neuromuscular aumentan la fatiga percibida, superando las expectativas de lactato debido a un mayor costo mecánico. Una técnica fluida con mejor relajación intermuscular permite a los atletas gestionar mayores concentraciones de lactato con un esfuerzo subjetivo controlado gesto (Benítez y Cupeiro, 2025).

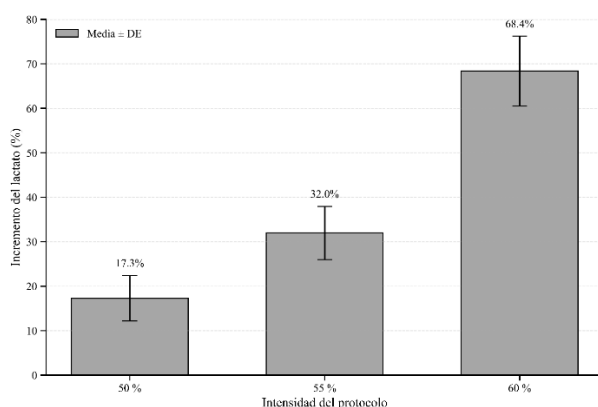


Fig. 4: Incremento porcentual del lactato respecto al reposo.

Nota. Incremento porcentual acumulado de la concentración de lactato sanguíneo (media $\pm$ desviación estándar) con respecto a la línea de base (reposo), según la intensidad del protocolo (50%, 55% y 60%). Elaboración propia.

El incremento porcentual de lactato reflejado en la Fig. 4 quiebra la linealidad metabólica. Que ocurre al superar el 55% de la intensidad de la prueba. El dato marca la frontera donde el organismo del púgil prejuvenil entra en una dependencia anaeróbica láctica acelerada. Este pico de acidez celular funciona como el estímulo biológico necesario para forzar la plasticidad muscular. La acumulación de metabolitos activa cascadas de señalización molecular específicas, en especial las proteinoquinasas AMPK y p38 MAPK. Estas enzimas encienden la biogénesis mitocondrial en las fibras de contracción rápida tipo IIa y aceleran la síntesis de los transportadores celulares MCT-1. (Ho et al., 2007).

La amplitud de las barras de error de la ($\pm$ DE) en el gráfico expone que la respuesta fisiológica no es uniforme. Las diferencias individuales obedecen a factores genéticos y de maduración, como la densidad variable de receptores β_2 -adrenérgicos o la tasa diferencial de glucogenólisis en el músculo del adolescente (Hostrup y Jessen, 2024).

El patrón progresivo de elevación registrado en la prueba simula la demanda bioenergética real de un combate oficial. Los intercambios finales de alta intensidad en el ring exigen operar bajo el perfil de estrés reflejado en ese incremento cercano al 70%. Los atletas prejuveniles gestionaron este pico metabólico con seguridad y sin síntomas de colapso.

Conclusiones

Los resultados demuestran que el programa de entrenamiento basado en sprints es una herramienta metodológica efectiva y segura. Su aplicación evalúa e impacta de forma positiva la resistencia anaeróbica láctica en la categoría prejuvenil. El protocolo fr accionado generó incrementos progresivos y significativos en la concentración de lactato sanguíneo, registrando un aumento del 68.4% respecto al reposo en la fase final. Esta respuesta confirma la activación de la vía glucolítica para estimular adaptaciones metabólicas de amortiguación celular.

El perfil metabólico y la respuesta perceptiva exhibieron un sólido acoplamiento. La relación quedó en evidencia mediante un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.918$ entre la acumulación de lactato capilar y la Escala de Borg. La elevada sensibilidad psicofisiológica observada en los deportistas demuestra que la fatiga percibida opera como un mecanismo regulador neuromuscular clave frente al reclutamiento de fibras rápidas.

La investigación refuta los modelos empíricos tradicionales que restringían las cargas anaeróbicas lácticas durante la pubertad. El entrenamiento interválico de sprints aprovecha la alta plasticidad neuromuscular propia de los 14 y 15 años. De este modo, el estímulo promueve los mecanismos de aclaramiento metabólico y la resiliencia física en situaciones de acidosis.

Referencias

- Benítez, J. A., y Cupeiro, R. (2025). Factors Influencing Blood Lactate Concentration During Exercise: A Narrative Review With a Lactate Shuttle Perspective. *Acta Physiologica*, 241(12). <https://doi.org/10.1111/apha.70131>
- Cairns, S. P., y Lindinger, M. I. (2025). Lactic acidosis: implications for human exercise performance. In *European Journal of Applied Physiology* (Vol. 125, Number 7). <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05750-0>
- Çemç, M. S., y Ağduman, F. (2024). Evaluating the impact of boxing on prefrontal cortex activation and cognitive performance: A pilot study using fNIRS technology and the Stroop test. *PLOS ONE*, 19(12), e0314979. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314979>
- Ferretti, G., y di Prampero, P. E. (2026). A reassessment of the energetic significance of blood lactate accumulation during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 126(3), 1279–1286. <https://doi.org/10.1007/s00421-026-06134-8>
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., y Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchini, E. (2020). High-Intensity Interval Training Prescription for Combat-Sport Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(6), 767–776. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0289>
- Garcia, M. A. (2022). Predictors of young adults' movement capability in physical activity. *Physical Education of Students*, 26(3), 105–116. <https://doi.org/10.15561/20755279.2022.0301>
- Ho, R. C., Fujii, N., Witters, L. A., Hirshman, M. F., y Goodyear, L. J. (2007). Dissociation of AMP-activated protein kinase and p38 mitogen-activated protein kinase signaling in skeletal muscle. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 362(2), 354–359. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.07.154>

- Hostrup, M., y Jessen, S. (2024). Beyond bronchodilation: Illuminating the performance benefits of inhaled beta2-agonists in sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 34(1). <https://doi.org/10.1111/sms.14567>
- Hu, X., Liu, R., Wang, C., Shi, H., Zhu, L., y Duan, R. (2026). Unlocking human potential: A centennial journey and transformation of exercise physiology. *Advanced Exercise and Health Science*, 3(2), 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.aehs.2026.04.001>
- Kaczmarek, F., Bartkowiak-Wieczorek, J., Matecka, M., Jencylik, K., Brzezińska, K., Gajniak, P., Marchwiak, S., Kaczmarek, K., Nowak, M., Kmiecik, M., Stężycka, J., Krupa, K. K., y Mądry, E. (2025). Sleep and Athletic Performance: A Multidimensional Review of Physiological and Molecular Mechanisms. *Journal of Clinical Medicine*, 14(21), 7606. <https://doi.org/10.3390/jcm14217606>
- Macedo, A. G., Massini, D. A., Almeida, T. A. F., Santos, A. T. S., Galdino, G., de Oliveira, D. M., y Pessôa Filho, D. M. (2025). Perceptual and Metabolic Responses During Resistance Training Sessions: Comparing Low-Load Plus Blood Flow Restriction with High-Load Plans. *Sports*, 13(5), 148. <https://doi.org/10.3390/sports13050148>
- Mandadzhiev, N. (2025). The contemporary role of lactate in exercise physiology and exercise prescription – a review of the literature. In *Folia Medica* (Vol. 67, Number 1). <https://doi.org/10.3897/folmed.67.e144693>
- Muñoz, J. L., Alentorn-Geli, E., Casals, M., Hewett, T. E., y Baiget, E. (2025). Assessment Methods of Sport-Induced Neuromuscular Fatigue: A Scoping Review. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 20(7). <https://doi.org/10.26603/001c.141230>
- Pageaux, B., Bergevin, M., Mangin, T., Lepers, R., y Marcora, S. M. (2023). The central motor command, but not the muscle afferent feedback, is necessary to perceive effort. *International Journal of Psychophysiology*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.05.072>
- Pinto, M., Crisóstomo, J., Kirk, C., Abián-Vicén, J., y Monteiro, L. (2025). Influence of Anthropometric Characteristics and Muscle Performance on Punch Impact. *Sports*, 13(8), 281. <https://doi.org/10.3390/sports13080281>

- Pluteanu, F., Musset, B., y Rinne, A. (2025). Ca^{2+} Signaling in Striated Muscle Cells During Intracellular Acidosis. *Biomolecules*, 15(9), 1244. <https://doi.org/10.3390/biom15091244>
- Ruddock, A., James, L., French, D., Rogerson, D., Driller, M., y Hembrough, D. (2021). High-Intensity Conditioning for Combat Athletes: Practical Recommendations. *Applied Sciences*, 11(22), 10658. <https://doi.org/10.3390/app112210658>
- Salter, J., Forsdyke, D., Dawson, Z., Rymer, J., Walsh, L., y Mundy, P. (2025). The Influence of Athletic Profile on Acute Neuromuscular Response to a Repeated Sprint Protocol in Youth Females: A Pilot Study. *Journal of Strength y Conditioning Research*, 39(7), 760–769. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000005125>
- Torma, F., Gombos, Z., Jokai, M., Takeda, M., Mimura, T., y Radak, Z. (2019). High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle. *Sports Medicine and Health Science*, 1(1), 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2019.08.003>
- Tsukamoto, H., Suga, T., Dora, K., Sugimoto, T., Tomoo, K., Isaka, T., y Hashimoto, T. (2023). The lactate response to a second bout of exercise is not reduced in a concurrent lower-limb exercise program. *Scientific Reports*, 13(1), 21337. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48670-9>
- Usher, A., y Babraj, J. (2025). Impact of sprint interval training on post-fatigue mitochondrial rate in professional boxers. *European Journal of Applied Physiology*, 125(1), 261–271. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05594-0>
- Zeng, Z., Zhou, C., Yin, W., Chen, T., Han, T., Xie, Y., y Zhou, A. (2025). Strength gains and distinct acute blood lactate responses induced by stepwise load reduction training in healthy males. *Frontiers in Physiology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1658993>

Copyright (2026) © Anthony Siquihua Chimbo, Alexis Eliecer Cuji Llongo

Henry Rodolfo Gutiérrez Cayo



Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0. Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.