

Efectividad del umbral anaeróbico en los diferentes métodos de entrenamiento y en el rendimiento deportivo en atletas jóvenes de medio fondo y fondo. Una revisión sistemática.

Effectiveness of anaerobic threshold in different training methods and sports performance in young middle-distance and long-distance athletes. A systematic review.

ARTICULO ORIGINAL

Ángelo Mancilla Carrasco <sup>(1)</sup>, Marcos Ojeda Aguilar <sup>(1)</sup>, Guillermo Gutiérrez Laclote <sup>(2)</sup>

1 Programa Magister en Ejercicio Físico y Salud, Universidad San Sebastián, Puerto Montt, Chile.

2 Departamento Ciencias de la Actividad Física, Universidad de Los Lagos, Puerto Montt, Chile.

PALABRAS CLAVE

Atletas  
Jóvenes  
Métodos  
Rendimiento Deportivo  
Umbral Anaeróbico

Resumen

Medir el umbral anaeróbico como parámetro de referencia para la capacidad respiratoria, se ha considerado apropiado en la estimación de los diferentes dominios de intensidades durante el ejercicio, utilizado en el desarrollo de programas de entrenamiento y medida del rendimiento deportivo en los atletas de medio fondo y fondo. **Objetivo:** Analizar y comparar la efectividad del umbral anaeróbico como herramienta en los diferentes métodos de entrenamiento orientado al rendimiento deportivo en atletas jóvenes de medio fondo y fondo. **Material y Métodos:** Se realizó la búsqueda en Dialnet, Ebscohost, PubMed y Scielo. Los criterios de elegibilidad fueron establecidos en base al acrónimo PICOR: (P) Atletas jóvenes entre 13 y 18 años, (I) Medición de umbral anaeróbico y relación con el rendimiento deportivo, (C) Pruebas de campo y pruebas de laboratorio, (O) Efecto del umbral anaeróbico en los métodos de entrenamiento y en el rendimiento deportivo. **Resultados:** Se identificaron 100 artículos, de los cuales solo 6 cumplen con los criterios de inclusión. Se observaron concordancias entre las pruebas de campo y laboratorio. **Conclusión:** La utilización del umbral anaeróbico se considera como punto de referencia para establecer intensidades en el entrenamiento y mejoras en el rendimiento deportivo en atletas de medio fondo y fondo.

KEYWORDS

Athletes  
Adolescent  
Methods  
Athletic Performance  
Anaerobic Threshold

Abstract

Measuring the anaerobic threshold as a reference parameter for respiratory capacity has been considered appropriate in the estimation of different intensity domains during exercise, used in the development of training programs and measurement of sports performance in middle-distance and long-distance athletes. **Objective:** To analyze and compare the effectiveness of the anaerobic threshold as a tool in the different training methods oriented to the sports performance training methods oriented to sports performance in young middle-distance and long-distance athletes. **Material and Methods:** A search was carried out in Dialnet, Ebscohost, PubMed and Scielo. The eligibility criteria were established based on the acronym PICOR: (P) Young athletes between 13 and 18 years of age, (I) Measurement of anaerobic threshold and relation to sports performance, (C) Field and laboratory tests, (O) Effect of (O) Effect of anaerobic threshold on training methods and sports performance. **Results:** 100 articles were identified, of which only 6 met the inclusion criteria. Concordance between field and laboratory tests was observed. **Conclusion:** The use of the anaerobic threshold is considered as a reference point to establish training intensities and improvements in sports performance in middle-distance and long-distance athletes.

Recibido:

Enero, 2022

Aceptado:

Junio, 2022

Dirección para correspondencia:

Marcos Ojeda Aguilar, Programa Magister en Ejercicio Físico y Salud, Universidad San Sebastián, Puerto Montt, Chile, [marcosojeda1690@gmail.com](mailto:marcosojeda1690@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Las carreras de medio fondo y fondo se encuentran dentro de las pruebas atléticas más exigentes para entrenar y competir, ya que tanto las capacidades físicas como las psíquicas son particularmente solicitadas <sup>(1)</sup>, haciendo que los deportistas eleven capacidades volitivas, orgánicas y mentales al máximo rendimiento, originando en los atletas una confianza interna al superar los estados de agonía cuando se sobrepasan los umbrales de dolor y agotamiento, en especial en pruebas de largo y medio fondo <sup>(2)</sup>.

Dentro de la diversidad de disciplinas deportivas, se encuentran las pruebas atléticas de resistencia como las carreras a pie de larga distancia, que son capaces de llevar al límite a los deportistas que los practican. Que, en función con la distancia, recorren de 800 hasta 3000, e incluso maratones de 42.196 Km <sup>(3)</sup>.

La corrida es actualmente uno de los deportes más practicados en todo el mundo, y en cada competición se suma un número mayor de participantes. Maratones como los de Washington o Berlín, reciben anualmente de 30000 a 40000 corredores. La Maratón de Nueva York, por su parte, superó los 50000 corredores y en Chile 2016 en su décima versión reunió a 28000 corredores <sup>(4)</sup>. Además, podemos encontrar una amplia variedad de participantes en

estas carreras, que va desde los mejores atletas del país hasta corredores de nivel más popular, siendo el abanico de rendimiento muy variado <sup>(5)</sup>.

En cuanto a datos antropométricos, la altura media de corredores de élite varones se sitúa por encima de 180 cm y el peso gira en torno a los 70-72 kilos que, relacionados con la altura media, nos da como resultados índices de masa corporal relativamente bajos <sup>(6)</sup>. Aquellos deportes donde se debe transportar el peso a través de largas distancias. Requieren mantener un peso bajo, ya que gastan menos energía si su peso corporal es reducido <sup>(7)</sup>.

Para poder entrenar adecuadamente y conseguir los objetivos expuestos, se deben ajustar las cargas de entrenamiento, conocer la situación metabólica de cada atleta durante la competición, y diseñar estrategias nutricionales y de recuperación de la fatiga <sup>(8)</sup>. Es por ello que los umbrales de esfuerzo son de ayuda para distinguir las diversas etapas del metabolismo en el entrenamiento, tales como el cambio en el porcentaje de dióxido de carbono espirado, frecuencia cardíaca (FC) o en la concentración de lactato en sangre (BL) <sup>(9)</sup>. Estas son llevadas a tablas y gráficos para confeccionar diferentes tipos de curvas, velocidad/lactato, velocidad/Fc o Lactato/Fc, etc, todas correlacionadas con las zonas de intensidad para un mayor

efecto en el entrenamiento y una mejor adaptación del atleta a las cargas suministradas <sup>(10)</sup>.

Considerando que existen diferentes formas de determinar la condición física, que van desde los costosos métodos invasivos de laboratorio, hasta métodos asequibles no invasivos de campo. La prueba no invasiva basada en el campo mantiene una buena fiabilidad y un bajo coste utilizando solo parámetros fisiológicos <sup>(11)</sup>.

El concepto Umbral anaeróbico fue propuesto inicialmente por Wasserman y McIlroy en 1964 <sup>(12)</sup>. El umbral anaeróbico es la zona donde se dispara la producción de lactato y comienza la acumulación en la sangre siendo mayor la producción que su eliminación y siendo considerado como la zona o intensidad de transición aeróbica-anaeróbica <sup>(13)</sup>. En aquella época, la acidosis metabólica que proporcionaba el ejercicio vigoroso se consideraba un riesgo para los pacientes <sup>(14)</sup>. El concepto de umbral anaeróbico (UAnaer) está siendo utilizado en los últimos cincuenta años tanto en el contexto clínico como deportivo <sup>(15)</sup>, donde es considerado un importante indicador del rendimiento en resistencia cardiorrespiratoria <sup>(16)</sup>. Una de las formas de determinación del UAnaer es a través del análisis de las concentraciones de lactato sanguíneo <sup>(17)</sup>, mediante el máximo estado estable de lactato (MLSS), intensidad de ejercicio asociada con la potencia crítica <sup>(18)</sup> y considerada por los fisiólogos de Ciencias del

Deporte como el patrón de referencia en la valoración del rendimiento de la resistencia cardiorrespiratoria <sup>(19,20)</sup>.

En el ámbito deportivo, para llevar a cabo este análisis de distribución de cargas de entrenamiento, se han establecido diferentes zonas de intensidad, entre otras, destaca la que deriva del modelo trifásico de intensidad fisiológica propuesto por Skinner y McLellan <sup>(21)</sup> basado en la delimitación de intensidad a través de los umbrales ventilatorios o de lactato <sup>(22)</sup>. Se considera que la zona de menor intensidad está delimitada por el primer umbral ventilatorio (VT1) o de lactato (LT1) y se describe como una representación del umbral aeróbico (AeT), la zona de mayor intensidad, que abarca los ritmos de trabajo por encima del segundo umbral ventilatorio (VT2) o del umbral de lactato (LT2), se describe como un umbral anaeróbico (AnT) y se considera insostenible durante largos periodos de tiempo <sup>(23)</sup>. La fase 2 se encuentra dentro de los márgenes para el punto óptimo del entrenamiento, alcanza una concentración de lactato de 4mmol/l, determinado en sangre capilar, además se establece el límite aeróbico-anaeróbico, también conocido como punto de deflexión <sup>(24)</sup>. Debemos tener en cuenta que la concentración de lactato puede llegar a mantenerse por encima del nivel basal, más de 20 minutos después de realizar un ejercicio intenso de corta duración <sup>(25)</sup>. Finalmente está la tercera zona que se

desarrolla a intensidades mayores del segundo umbral ventilatorio, alcanzando su máxima potencia aeróbica a los 6-8mmol/l, y la máxima utilización de oxígeno <sup>(26)</sup>.

	Rest	Phase I Aerobic Threshold	Phase II Anaerobic Threshold	Phase III VO <sub>2</sub> max
Predominant Type of Metabolism		Aerobic	→	Anaerobic
Predominant Substrate		Fat > Carbohydrate	→	Carbohydrate > Fat
Predominant Muscle Fiber Type		I	I, IIa	I, IIa, IIb
Relative Intensity (% VO <sub>2</sub> max)		40-60	65-90	
Heart Rate (b · min <sup>-1</sup> )		130-150	160-180	
Blood Lactate (mmol · l <sup>-1</sup> )		~2	~4	

**Imagen 1:** Modelo trifásico de Skinner. Fue extraído de “The transition from aerobic to anaerobic metabolism” y elaborado por Skinner y Mclellan <sup>(21)</sup>

El entrenamiento en cualquier deporte de fondo busca como objetivo principal retrasar el umbral anaeróbico, es decir que la maquinaria anaeróbica no se ponga en marcha hasta alcanzar intensidades de ejercicios mayores <sup>(27)</sup>. Para que esta capacidad física llegue a su máxima expresión no se necesita que el tamaño del músculo sea muy grande, sino que se coordinen los procesos para que los músculos se contraigan eficazmente en sincronización con la capacidad oxidativa <sup>(28)</sup>. La cual se define como el ritmo más alto de consumo de oxígeno alcanzado durante la realización de ejercicios prolongados y que nos entrega la determinación, intensidad del esfuerzo o el ritmo que puede sostener un ejercicio físico <sup>(29)</sup>.

Además, los sistemas neuromusculares, neuroendocrino,

energético, cardiocirculatorio o respiratorio responden de manera diferente dependiendo de la intensidad del ejercicio, es por esto, que para elaborar un entrenamiento es necesario comprender qué efecto provoca en nuestros sistemas la aplicación de una carga determinada <sup>(30)</sup>.

El umbral anaeróbico, representa la intensidad del ejercicio en que las tasas de producción de lactato superan su remoción, induciendo una elevación abrupta del lactato sanguíneo. Esta es la etapa del ejercicio en que ocurre una mayor participación del metabolismo glucolítico anaeróbico <sup>(31)</sup>.

Los umbrales metabólicos o umbrales de transición, han sido estimados como parámetros fisiológicos bastante apropiados para determinar los diferentes dominios de intensidad durante el ejercicio, específicamente porque reflejan confiabilidad de las respuestas desencadenadas por el entrenamiento de resistencia, siendo así, importantes para establecer el éxito en pruebas de media y larga distancia <sup>(32)</sup>.

Por cierto, existen parámetros ventilatorios, que determinan las tasas de consumo de oxígeno <sup>(33)</sup>, y de parámetros neuromusculares, por el análisis de la amplitud de señal electromiográfica <sup>(34)</sup>. Estas pruebas expresan de forma sistemática los índices fisiológicos, como la velocidad máxima de oxigenación

(VO<sub>2</sub>MÁX) y la máxima fase estable de lactato (MFEL) <sup>(35)</sup>.

Así pues, el objetivo debe ser la determinación de los distintos límites en los que el entrenamiento afectará a los diferentes procesos fisiológicos implicados en las adaptaciones orgánicas necesarias en la mejora de la forma física, en lo que se conoce como la “determinación de los umbrales” <sup>(36)</sup>. Los protocolos tradicionales de entrenamiento de resistencia han sido por umbral, manejando el alto volumen y alta intensidad <sup>(37)</sup>. En contraste, un nuevo modelo de entrenamiento polarizado (POL) sugiere que el atleta entrene por debajo de la intensidad asociada al UL o bien muy por encima de él <sup>(38)</sup>. Es importante basar el proceso de planificación y ejecución del programa en estos principios, ya que de su correcta aplicación dependerá en gran medida el éxito del atleta <sup>(39)</sup>. Además, el manejo de estas variables se engloba y definen la carga de entrenamiento utilizado en la sesión <sup>(40)</sup>.

El entrenamiento por umbral se caracteriza por aumentar la intensidad 14-16, escala de Borg 6-20 sobre 55% Vo<sub>2</sub>Max y mantenerlo durante todo el entrenamiento. El entrenamiento de alto volumen (HVT) se caracteriza por entrenamientos largos con una intensidad muy ligera, mientras que el entrenamiento en intervalos de alta intensidad (HIIT) se caracteriza por entrenamientos en intervalos a un ritmo muy duro ( $\geq 17$ ) en la escala de Borg

mantenido por varios días consecutivos con poco o sin entrenamiento con largas distancias lentas ( $\leq 13$ ) <sup>(41)</sup>.

---

6	
7	Very, very light
8	
9	Very light
10	
11	Fairly light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Very, very hard
20	

---

**Imagen 2:** Escala de Borg. Fue extraído de “Psychophysical bases of perceived exertion” y elaborado por Borg <sup>(42)</sup>

Entrenar en una fase anaeróbica busca aumentar los niveles de producción y amortiguación de ácidos, como también una mejor producción de enzimas involucradas en los procesos anaeróbicos con utilización mayoritariamente de los hidratos de carbono <sup>(43)</sup>. Por el contrario, en condiciones de ejercicio de baja intensidad podemos amortiguar cómodamente el ácido láctico y mantener un nivel estable de ácido láctico y ventilación <sup>(44)</sup>.

En base a la información recopilada surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la efectividad del umbral anaeróbico en el rendimiento deportivo en atletas? Asimismo, el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar y comparar la efectividad del umbral anaeróbico como herramienta en los diferentes métodos de entrenamiento orientado al rendimiento

deportivo en atletas jóvenes de medio fondo y fondo.

### **Materiales y Métodos**

Para la elaboración de la presente revisión sistemática la búsqueda de información se realizó en las bases de datos: Dialnet, Ebscohost, PubMed y Scielo. La pregunta de investigación se elaboró en base a la estrategia PICOr, obteniendo como palabras claves a) Atletas (Athletes), b) Jóvenes (Adolescent), c) Métodos (Methods), d) Rendimiento Deportivo (Athletic Performance), e) Umbral Anaeróbico (Anaerobic Treshold). Para la elaboración del descriptor de búsqueda se utilizó el término booleano “AND”, utilizando en primer lugar Anaerobic Treshold and Athletes, en segundo lugar Anaerobic Treshold and Athletes and Adolescent, para luego continuar con Anaerobic Treshold and Methods and Athletic Performance. Los criterios de inclusión fueron: a) artículos en multilinguaje (español, inglés y portugués) b) artículos publicados entre los años 2010 a 2021

de acceso libre, c) artículos aplicados a jóvenes atletas o corredores, de ambos sexos.

### ***Evaluación de la calidad metodológica***

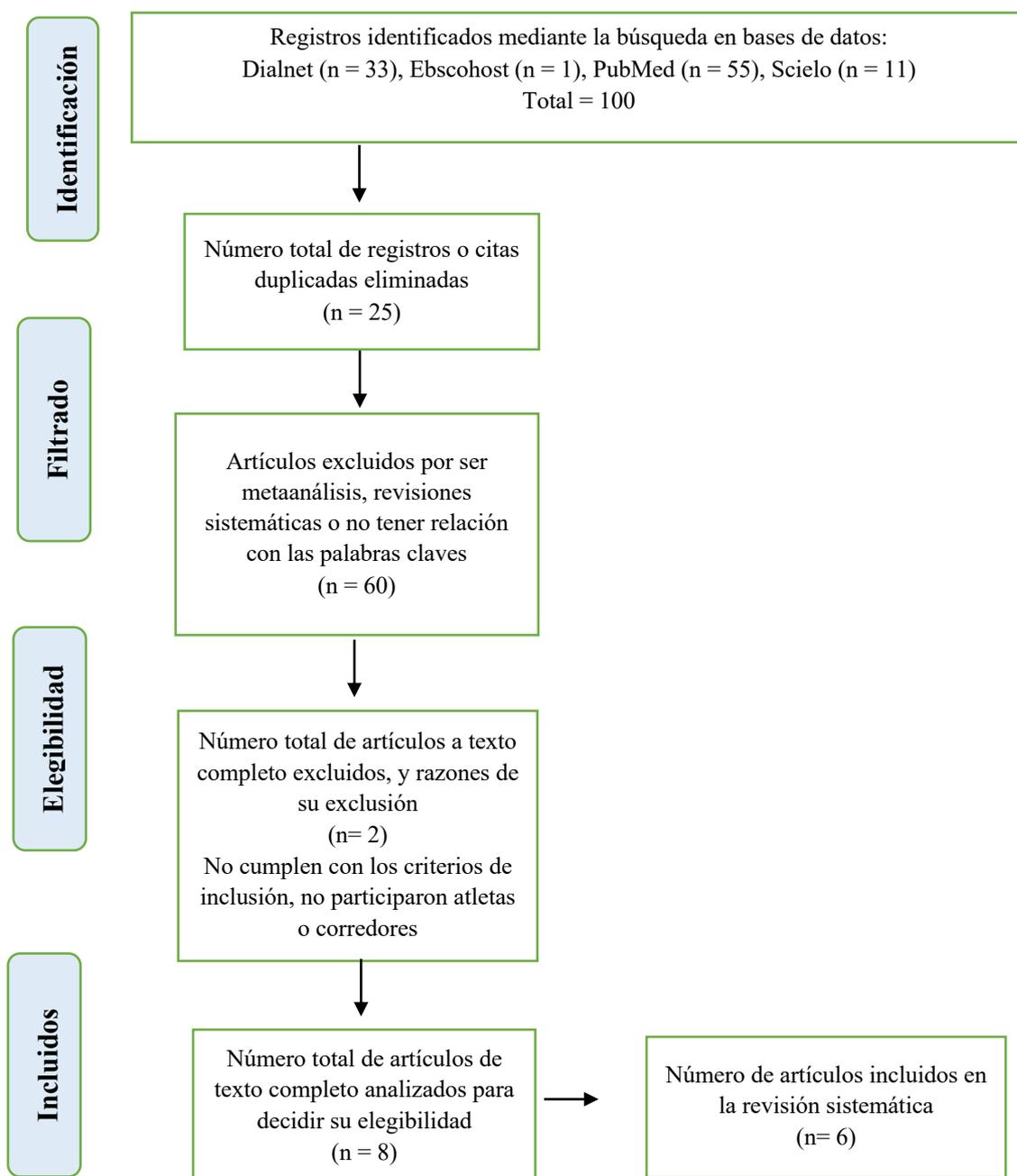
La escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database) <sup>(45)</sup> fue utilizada para analizar la calidad metodológica de todos los artículos seleccionados. Una vez que los artículos fueron seleccionados se aplicó rigor científico y los 6 artículos fueron analizados y evaluados. La escala PEDro es una herramienta recomendada para evaluar la calidad de la evidencia. Los artículos seleccionados debían cumplir las condiciones indicadas en la Tabla 1.

### ***Extracción de datos***

Se recolectaron los títulos y resúmenes de los artículos seleccionados. En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo utilizando la estrategia PRISMA para seleccionar los estudios analizados. La búsqueda recuperó un total de 93 posibles artículos para analizar.

Después de la proyección por título y/o resumen, 60 artículos fueron excluidos de manera inmediata por ser metaanálisis, revisiones sistemáticas o no tener relación con las palabras claves. Se eliminaron 25 artículos por ser duplicados. Por último, de los 8 artículos seleccionados se excluyeron 2 por no cumplir con los criterios de inclusión, en ambos no participaron atletas o corredores.

**Figura 1.** Diagrama de flujo utilizando la estrategia PRISMA para seleccionar los estudios analizados



**Tabla 1.** Calidad metodológica de los artículos seleccionados con la escala PEDro

Ítems	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Puntuación Total
Autor - Año												
Alonso Curiel et al. (2012) <sup>(46)</sup>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Bruce Rogers et al. (2021) <sup>(47)</sup>	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
Domínguez et al. (2016) <sup>(48)</sup>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Fernando López et al. (2019) <sup>(49)</sup>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6
Nicola Giovanelli et al. (2019) <sup>(50)</sup>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
Rodrigo Browne et al. (2015) <sup>(51)</sup>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6

Fuente: Ayala F y de Baranda P <sup>(45)</sup>

Puntuación 0: indica que el criterio de evaluación no se cumple. Puntuación 1: indica que el criterio se cumple.

1) Los criterios de elección fueron especificados; 2) Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos; 3) La asignación fue oculta; 4) Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importante; 5) Todos los sujetos fueron cegados; 6) todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados; 7) Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados; 8) Las

medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos; 9) Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”; 10) Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; 11) El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

**Tabla 2.** Características de los estudios

Estudio	Participantes	Diseño de investigación			Resultados
	Descripción	Medición	Indicadores de evaluación	Intervención y duración	
Alonso Curiel et al. (2012) <sup>(46)</sup>	N= 4 atletas masculinos de alto rendimiento	Seleccionados mediante muestreo no aleatorio, con tiempos registrados en 3000 metros entre 7:38 y 8:08	Para la obtención de los datos se utilizó un kit de análisis de lactato. La frecuencia cardiaca se midió con un pulsometro	Entrenamiento intervalico medio extensivo: 4x(4x400) (102%, recuperación: 1 y 3) + 1x400 (máxima intensidad)	La respuesta láctica en el entrenamiento intervalico medio extensivo es muy similar a la respuesta láctica de recuperación en una competición de 3.000 metros lisos, y ello permite mejorar la resistencia de media duración.
Bruce Rogers et al. (2021) <sup>(47)</sup>	N= 17 H; 27,8 años; 56,10 ml/kg/min; Corredores recreativos	Protocolo de Bruce con aumentos de velocidad e inclinación desde 2,7 km / a una pendiente del diez por ciento, aumentando en 1,3 km / y dos por ciento de pendiente cada 3 min hasta el agotamiento	Umbral Anaeróbico (AnT) Intercambio gaseoso Frecuencia cardiaca (Fc)		El VT2 se alcanzó a una Frecuencia cardiaca de 174 lpm en comparación con la HRVT2 media a una frecuencia cardiaca de 171 lpm. En resumen, la Fc asociada con un valor de DFA a1 de 0,5 en una rampa incremental en cinta rodante fue estrechamente relacionado con el de la HR en el VT2 derivado del análisis de intercambio de gases.
Domínguez et al. (2016) <sup>(48)</sup>	N= 24 H; 18 a 21 años, altura de 180, cm y peso de 81,9 kg. experiencia en contrarresistencia, 3 veces a la semana, superior a 6 meses.	Test incremental progresivo discontinuo en Media Sentadilla (MS) cicloergómetro.	Respuestas respiratorias, de frecuencia cardiaca (FC) y lactato a intensidad de Umbral Láctico (UL)		Las concentraciones de lactato sanguíneo, FC, VE, VE·VCO2 fueron superiores en MS vs cicloergómetro (p <0,05).
Fernando López et al. (2019) <sup>(49)</sup>	N= 16 Atletas de alto rendimiento preseleccionados a juegos nacionales.	Protocolo de Bosco utilizando los saltos Abalakov (ABK), Contramovimiento (CMJ) y Squat Jump (SJ) apoyándose de la plataforma de contacto Axon Jump 4.0.		Se realizó durante 8 semanas, con una frecuencia de 3 días de entrenamientos semanales.	8 semanas de entrenamiento pliométrico son suficientes para estimular la potencia en miembros inferiores en atletas de élite.
Nicola Giovanelli et al. (2019) <sup>(50)</sup>	N= 15 H; Corredores entrenados	RABIT (Running Advisor Billat Training)  GRAD Test (Prueba de ejercicio graduada)	Consumo de Oxígeno (VO2) Producción de Dióxido de Carbono (VCO2) Ventilación Frecuencia Cardiaca (FC)		RABIT fue validado para todos los parámetros máximos y para la mayoría de los parámetros relacionados con Ant y AerT y luego podría usarse para detectar zonas de entrenamiento en atletas, se encontraron similitudes con GRAD test.
Rodrigo Browne et al. (2015) <sup>(51)</sup>	N= 25 (18H, 7M); 14,7 años; Corredores jóvenes	Pruebas de carrera: 1) 3000 metros 2) 1600 metros 3) Prueba Incremental de la determinación de la velocidad mínima del lactato VLM.	Velocidad mínima del lactato (VLM)  Velocidad Crítica (CV)		El CV pareció estimar el LMV en corredores juveniles, no muestran diferencias significativas entre la LMV y la CV. Además, ambos protocolos presentaron una buena concordancia basada en la pequeña diferencia entre las medias y un estándar de estimación por debajo del 2% entre valores.

## RESULTADOS

Dentro del análisis cabe mencionar que los seis estudios incluidos en la revisión contaban con atletas y corredores entrenados, excepto uno de los estudios que incluyó corredores recreativos <sup>(47)</sup>, sin embargo, todos los estudios están enfocados en buscar un incremento en el rendimiento deportivo en las carreras de resistencia y la mayoría se enfocan en estimar el umbral anaeróbico como indicador de evaluación. Dos de los estudios fueron de campo <sup>(46-51)</sup>, dos estudios fueron de laboratorio <sup>(47-49)</sup> y los otros dos estudios fueron mixtos, campo y laboratorio <sup>(48-50)</sup>. Se utilizaron indicadores comparativos como la frecuencia cardíaca, respuestas respiratorias, intercambio gaseoso, umbral anaeróbico y velocidad mínima de lactato. De los estudios seleccionados, dos aplicaron protocolos de intervención, uno de los estudios tuvo un entrenamiento interválico medio extensivo <sup>(46)</sup> y el segundo estudio aplicó un entrenamiento pliométrico durante ocho semanas <sup>(49)</sup>. El total de participantes entre los 6 estudios analizados fueron 101, distribuidos en 7 mujeres y 94 hombres.

El primer estudio analizado fue publicado el año 2012 por Curiel et al <sup>(46)</sup>. El comportamiento láctico se analizó desde el punto de vista comparativo, con el fin de encontrar una concordancia en la curva de recuperación del lactato entre la competición de 3000 metros lisos y un entrenamiento interválico medio extensivo en 4 atletas de alto

rendimiento. Los resultados muestran en los minutos 3, 5, 7, 10 y 20 posterior a la aplicación de ambas pruebas, un coeficiente correlacional de 0.97mmol/L de desfase, estadísticamente ( $p < 0,01$ ). Por lo que se puede inferir que el entrenamiento 4 x (4x400) recuperación de 1' a 3' minutos, se asemeja a la curva del lactato de recuperación de la prueba de fondo 3000 metros lisos.

Posteriormente Rogers et al <sup>(47)</sup>. Con un grupo de 17 corredores recreativos, realizó la medición del umbral anaeróbico, mediante el intercambio de gases, con el fin de encontrar una asociación con la transición de un índice de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). El Vo2Max varió considerablemente entre los participantes, oscilando entre 41 y 74 ml / kg / min. El VT1 se alcanzó a FC entre 108 y 183 lpm y el VT2 (donde se produce el Ant) mostró un valor medio de 174 ( $\pm 12$ ) lpm en comparación con una FC HRVT2 media de 171 ( $\pm 16$ ) lpm. Se identificó correlación ( $p < 0,001$ ). Por lo que la variabilidad de frecuencia cardíaca, evaluada en la carrera incremental de cinta, demostró que la frecuencia cardíaca alcanzada en el segundo umbral ventilatorio estaba estrechamente asociada con el de la frecuencia cardíaca. Asociada con un DFA a 1 de 0,5 en una población de corredores recreativas.

El tercer estudio Domínguez et al <sup>(48)</sup>. Comparo las respuestas respiratorias de frecuencia cardíaca (FC) y el umbral de lactato (UL) en el ejercicio de media sentadilla vs cicloergómetro (participaron 24 hombres con

una edad de 18 a 21 años con una experiencia de entrenamiento superior a los 6 meses). El umbral anaeróbico en media sentadilla se obtuvo con una carga de  $24,82 \pm 4,8\%$  que corresponde al 49,9% de su RM máximo y en el cicloergómetro correspondió a un  $44,58 \pm 10,84\%$  de su VO<sub>2</sub> max y además en media sentadilla (4,8 MmoL) las concentraciones de lactato fueron superiores vs cicloergómetro (2,06 MmoL). Estos resultados indican que el umbral anaeróbico puede ser detectado en entrenamientos de fuerza para el incremento del rendimiento en la intensidad de la contrarresistencia y además establecerlo como parámetro en protocolos de entrenamiento.

Respecto al estudio de López et al <sup>(49)</sup>. Los participantes fueron 16 atletas de alto rendimiento que fueron divididos de manera intencionada, formando el grupo control y experimental. La medición de la potencia se realizó con el protocolo de Bosco utilizando los saltos Abalakov (ABK), Contramovimiento (CMJ) y Squat Jump (SJ) apoyándose de la plataforma de contacto Axón Jump 4.0, la intervención se realizó durante 8 semanas, con una frecuencia de 3 días de entrenamientos semanales. Los porcentajes de mejora de los atletas entrenados con el método pliométrico son mayores que sus correspondientes para los atletas del grupo control. En el grupo experimental se observa una mejora, debido a que el promedio en el pos-test difiere del promedio del pre-test en  $35,28 - 31,62 = 3,66$  centímetros, diferencia que indica una mejora grupal del 10,38%, con

relación a la cantidad de centímetros saltados se tiene que el 100% de los deportistas incrementaron la distancia alcanzada en el pre-test. Para el grupo control, también, se observa una mejora, debido a que el promedio en el pos-test difiere del promedio en el pre-test en  $31,06 - 28,51 = 2,55$  centímetros, diferencia que significa una mejora grupal de un 8,21%. Los resultados generaron un efecto positivo en los deportistas, en ambos grupos se observaron mejoras en los saltos y en la altura alcanzada, también se indica que 8 semanas de entrenamiento pliométrico son suficientes para estimular la potencia y fuerza explosiva en miembros inferiores en atletas de alto rendimiento.

El objetivo del estudio de Giovanelli et al <sup>(50)</sup>. Fue validar una prueba de carrera fácil de realizar llamada RABIT para detectar umbrales y parámetros máximos aeróbicos (AerT) y anaeróbicos (AnT). 15 corredores entrenados completaron una prueba graduada y RABIT. Se compararon los parámetros cardiorrespiratorios y la velocidad de carrera del RABIT con los correspondientes a AerT, AnT o parámetros máximos obtenidos por el GRAD. Los VO<sub>2</sub>max, FCmax, RERmax y la velocidad de carrera máxima medida durante los tres minutos a ritmo fuerte del RABIT no fueron estadísticamente diferentes de los parámetros máximos medidos durante GRAD ( $p > 0.05$ ). Los VO<sub>2</sub>, HR y RER medidos durante el ritmo medio y fácil del RABIT no fueron significativamente diferentes de los parámetros AnT y AerT medidos durante

GRAD. Los coeficientes de correlación entre GRAD y RABIT para VO<sub>2</sub>max, HRmax, RER max y la velocidad de funcionamiento máxima eran  $r^2 = 0,83$  ( $p < 0,001$ ),  $r^2 = 0,94$  ( $p < 0,001$ ),  $r^2 = 0,17$  ( $p = 0,268$ ) y  $r^2 = 0,93$  ( $p < 0,001$ ) respectivamente. La predicción precisa fue del 71% para VO<sub>2</sub>max, 94% para FCmax, 56% para RER y 71% para velocidad de carrera. Los resultados de la comparación entre GRAD y RABIT fueron bastante similares por lo que RABIT fue validado para todos los parámetros máximos y para la mayoría de los parámetros relacionados con Ant y AerT y podría usarse para detectar zonas de entrenamiento en atletas.

Browne et al <sup>(51)</sup> investigo la validez de la velocidad crítica (CV) como método no invasivo para estimar la velocidad mínima de lactato (LMV), participaron 25 corredores jóvenes en 3 tipos de pruebas 1) carrera de 3.000 m; 2) 1.600 m en funcionamiento; 3) Prueba LMV. En CV los corredores consiguieron una media de  $13,5 \pm 1,9$  (Km x h) mientras que en LMV la media fue  $13,3 \pm 1,3$  (Km x h). Los resultados no mostraron diferencias significativas entre LMV y CV, ambos protocolos presentaron una buena concordancia basada en la pequeña diferencia entre las medias, se infiere que la CV puede ser una alternativa para la identificación no invasiva de LMV.

## DISCUSION

El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar y comparar la efectividad del umbral

anaeróbico como herramienta en los diferentes métodos de entrenamiento orientado al rendimiento deportivo en atletas jóvenes de medio fondo y fondo. Los resultados mostraron que, en cuanto a producción unos mayores niveles de ácido láctico significan una mayor intervención de la glucólisis rápida, lo cual conlleva una mayor potencia de producción de ATP y por tanto, una mayor velocidad de carrera. No obstante, un exceso de producción de ácido láctico sin su correcta reutilización, significará la aparición de fatiga muscular y obligará a descender el rendimiento drásticamente.

Por ende, es necesario entrenar el equilibrio entre producción de ácido láctico y su reutilización. Dicha reutilización se produce de diversas maneras, como en el ciclo de Cori, donde el lactato pasa a la sangre y llega hasta el hígado, donde es convertido en glucosa, por otro lado, mediante la glucólisis lenta o aeróbica, el ácido láctico se convierte en piruvato, el cual es utilizado como sustrato en la oxidación de la glucosa en el ciclo de Krebs. Con estos modos, la capacidad del atleta de utilizar este tipo de medios se optimiza gracias al entrenamiento, sirve para evitar la acumulación de ácido láctico y lograr así mantener la intensidad del esfuerzo por más tiempo, lo cual coincide con los resultados en el estudio de Curiel et al <sup>(46)</sup>. Todo esto supone una garantía de éxito en pruebas de largas distancias, porque si el atleta o corredor es capaz de reutilizar eficazmente el ácido láctico

les supone un aporte extra de energía, que le permitirá llegar sin excesiva acidez muscular a los últimos metros, y de esta manera terminará los últimos metros con un incremento del ritmo de carrera, por tanto, se considera que la respuesta láctica tiene una gran relevancia y debe ser contemplada en los entrenamientos de medio fondo y fondo.

Los resultados también sugieren que la modalidad del ejercicio, puede ser otro factor que influye en las respuestas del lactato al ejercicio. Domínguez et al <sup>(48)</sup> comparo media sentadilla con cicloergometro y sus resultados mostraron que las concentraciones de lactato encontradas en cicloergometro ( $2,06 \pm 0,63$  mmol/L), son similares a las encontradas en otras investigaciones, sin embargo las concentraciones de lactato sanguíneo encontradas en media sentadilla ( $4,58 \pm 1,5$  mmol/L) indican que las metodologías de detección del umbral anaeróbico basadas en concentraciones de lactato próximas a 2,0 mmol/L, podrían no ser extrapolables a otros ejercicios como la media sentadilla. Este dato es interesante porque se infiere que hay muchos factores que influyen en la respuesta del lactato, a saber la disponibilidad de glucógeno, la ingesta de hidratos de carbono de la dieta, también la variabilidad individual de cada atleta, como podría ser la composición de las fibras musculares, variables que afectan a la respuesta del lactato sanguíneo en ejercicio. Así también López et al <sup>(49)</sup> que probo el efecto de un entrenamiento pliométrico en atletas de

élite, considero que si hubo una mejora en el tiempo y además constataron una mejora en la economía del esfuerzo, deduce que las mejoras significativas en la economía de carrera ocurren luego de 6 o más semanas de entrenamiento pliométrico, este entrenamiento a diferencia de otros enfocados en resistencia, ayuda a mejorar la potencia y fuerza de los atletas, dato interesante teniendo en cuenta que Curiel et al <sup>(46)</sup> destacaba la importancia de un equilibrio en el entrenamiento de los atletas, sobre todo para evitar la acumulación de ácido láctico y mantener la intensidad del esfuerzo por más tiempo, además coincide con Domínguez et al <sup>(48)</sup> que mencionaba que la modalidad del ejercicio influía en la respuesta de lactato, en este caso el entrenamiento pliométrico tiene un efecto positivo en la fuerza explosiva de los miembros inferiores de los atletas, ayudando a mejorar el rendimiento deportivo de los atletas ya sea en tiempos o marcas.

Los resultados de Giovanelli et al <sup>(50)</sup> y Browne et al <sup>(51)</sup>, vienen a confirmar los datos de los estudios anteriores y a cooperar con pruebas de campo de bajo costo para detectar el umbral anaeróbico para ayudar a los atletas y entrenadores a obtener información para determinar zonas de entrenamiento y poder trabajar en base a intensidades máximas, entrenamientos por intervalos, mejoras en el VO<sub>2</sub>max, tiempos de recuperación y evaluación del rendimiento. Browne et al <sup>(51)</sup> sugiere no olvidar que en pruebas de larga

duración inciden otros factores que pueden contribuir al agotamiento, como la termorregulación, el agotamiento del sustrato y la motivación. Estos datos son interesantes e importantes que no fueron mencionados por los demás autores o simplemente fueron obviados.

Finalmente, de esta revisión sistemática cabe destacar que trabajar en zona de umbral anaeróbico de forma racional y profesional produce efectos positivos en el atleta, pero, si por el contrario el entrenamiento es inadecuado, los resultados serán perjudiciales para el atleta. Por tanto es relevante contar con pruebas de campo de bajo costo que sirvan para detectar el umbral anaeróbico de un atleta, de esta manera nos ayuda a encontrar zonas de entrenamiento que servirán para calcular intensidades, volumen, duración del ejercicio, cantidad, pausas y recuperaciones. Cabe destacar la importancia de los parámetros fisiológicos que complementan el umbral anaeróbico, como la FC, VO<sub>2</sub>max y los intercambios gaseosos, utilizados en 4 de los 6 artículos seleccionados para estimar y comparar el rendimiento del atleta, todo esto en pos de un mejor rendimiento deportivo en carreras de resistencia como las de medio fondo y fondo.

## **CONCLUSION**

En base a los antecedentes recopilados en esta revisión sistemática, se debe destacar que el umbral anaeróbico puede ser medido a

través de pruebas de campo y de laboratorio, ambos métodos son efectivos para detectar el umbral anaeróbico, así lo demuestran los 6 artículos analizados, esto es de vital importancia para atletas y entrenadores que no cuentan con implementos de laboratorio de altos costos para detectar el umbral anaeróbico, como lo demuestra la prueba de carrera RABIT y la velocidad crítica, métodos no invasivos para detectar el umbral anaeróbico y que pueden servir para detectar zonas de entrenamiento con la intención de mejorar el rendimiento deportivo de los atletas. En definitiva, la utilización del umbral anaeróbico se puede considerar como punto de referencia para establecer intensidades en el entrenamiento y mejoras en el rendimiento deportivo en atletas de medio fondo y fondo, lo cual queda demostrado en los artículos analizados aunque solo fueron dos artículos que aplicaron un método de entrenamiento, se evidenciaron mejoras en la metabolización del lactato en un tiempo de 6 a 8 semanas de trabajo.

## **CONFLICTOS DE INTERESES**

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses al redactar el artículo.

## REFERENCIAS

1. Mañana M, Magallanes C. Perfil antropométrico y de rendimiento de corredores de fondo uruguayos de elite. *Rev univ educ fis deporte*. 2017;(10):38–47.
2. Tarqui-Silva L. Entrenamiento hipóxico como recurso para el fortalecimiento mental en nadadores élite de fondo y medio fondo. *Rev Investig Altoandin*. (2015);17(3):13.
3. De la Vega R, Rivera O, Ruiz R. Personalidad Resistente en Carreras de Fondo: comparativa entre ultra fondo y diez kilómetros. *Rev Psicol Deporte*. 2011;(20):445-454.
4. Pereira-Guimaraes M, Hernández-Mosqueira C, Fernandes-Filho J, Fernandes-da-Silva S. Métodos de determinación de la velocidad crítica en corredores. *Ciencia UAT*. 2017;11(2):46.
5. Ogueta-Alday A, Rodríguez-Marroyo J, García-López J. Variables antropométricas, fisiológicas y bimecánicas determinantes del rendimiento en corredores de media maratón. *Biomecánica*. 2013;(21):20-29.
6. Díaz J. Características físicas y fisiológicas de los deportistas de orientación de alto rendimiento. *Ágora Educ Fís Deport*. 2020;(22): 209-219.
7. Román L, Salas J, Soto V. Composición corporal relacionada con la salud en atletas veteranos. *Nutr Hosp*. 2012;27(4):1236-1243.
8. Terrados N, Calleja-González J, Schelling X. (2011). Bases fisiológicas comunes para deportes de equipo. *Rev Andal Med Deport*. 2011;4(2):84-88
9. Caldera-Salcedo D, Pérez-Palencia K, Gómez L, Hernández O, Doria M, Castillo H, et al. I simposio Internacional sobre Investigación en la enseñanza de las ciencias. 2020.
10. Gil A, Gómez A, Puchaeisela F, Janeiro I. Valoración de la frecuencia cardiaca y el lactato durante un test escalonado en corredores de medio fondo. *Rev Cub Med Dep & Cul Fis*. 2020;(8):1.
11. Najera-Longoria R, Ortiz O, Lopez H, Kandia-Lujan R, Njunjez O, Gutierrez R, et al. Non spiographic or noninvasive methods to estimate anaerobic treshold. *Fiz kult*. 2017;71(1):55–62.
12. Wasserman K, Mcllroy M. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am j cardiol*. 1964;14(6): 844-852.
13. Navarro V, Granell J. Consumo de oxígeno y umbral anaeróbico en jóvenes deportistas de atletismo, natación y triatlón. *Apunt Educ fis y Deportes*. 2018;2(132):94-109.
14. Sales M, Sousa V, da Silva S, Knechtle B, Nikolaidis P, Alves P, et al. An integrative perspective of the anaerobic threshold. *Physiol Behav*. 2019;(205):29-32.
15. Messias L, Polisel E, Manchado-Gobatto F. Advances of the reverse lactate threshold test: Non-invasive proposal based on heart rate and effect of previous cycling experience. *PloS one*. 2018;13(3):1-20.

16. Billat V, Sirvent P, Koralszrein J, Mercier J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sports science. *Sport Med.* 2003;33(6):407-426.
17. Maté-Muñoz J, Domínguez R, Lougedo J, Garnacho-Castaño M. The lactate and ventilatory thresholds in resistance training. *Clin Physiol Func Imaging.* 2017;37(5):518-524.
18. Smith C, Jones A. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(1-2):19-26.
19. Beneke R, von Duvillard SP. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(2):241-246.
20. Llodio I, Gorostiaga E, Garcia-Tabar I, Granados C, Sánchez-Medina L. Estimation of the maximal lactate steady state in endurance runners. *Int J Sports Med.* 2016;37(07):539-546.
21. Skinner JS, McLellan TM. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51(1):234-48.
22. Párraga-Montilla J, Aibar-Almazán A, Cabrera-Linares J, Lozano-Aguilera E, Serrano V, Escarabajal M, et al. A randomized controlled trial protocol to test the efficacy of a dual-task multicomponent exercise program vs. A simple program on cognitive and fitness performance in elderly people. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(12):6507.
23. Rogers B, Giles D, Draper N, Mourot L, Gronwald T. Detection of the Anaerobic Threshold in Endurance Sports: Validation of a New Method Using Correlation Properties of Heart Rate Variability. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2021; 6(2), 38.
24. Palacios A. Determinación del umbral anaeróbico en nadadores/as principiantes y avanzados de la asociación de natación de Pichincha en el Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de establecer zonas de entrenamiento durante el periodo de julio a octubre del 2015. PUCE; 2015.
25. Parra J, Rodas G. (1998). Efectos del entrenamiento anaeróbico en el músculo esquelético. *Apunt Medicina de l'Esport.* 1998;34(129):27-36.
26. Pérez I. (2016). Métodos de cuantificación de la carga de entrenamiento en deportes de resistencia cíclica. *Búsqueda.* 2016;3(16),53-63.
27. Pentón J, Padillas A, Lara D, Zaballa M, Calero S, Vaca M. Estudio del umbral anaeróbico en ciclistas, categoría 14-15 años. *Rev Cuba de Investig Biomed.* 2018;37(4):1-11.
28. Cuadrado G, De Benito A, Sedano S, Izquierdo J, Redondo J, Granado J. (2009). Efectos de un programa de entrenamiento de la fuerza-resistencia sobre los niveles de resistencia. *Eur J Hum Mov.* 2009;(22):47-64.
29. Larrea J, Morales S. El rendimiento aeróbico del personal militar femenino en menos de 500 y más de 2000 m snm. *Rev Cuba de Investig Biomed.* 2017;36(3):1-10.

30. Mora R, Ramírez M. Recensión del Libro: Fisiología del entrenamiento aeróbico. Una visión integrada. 2015; 409; 101-103.
31. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol.* 2003;28(2):299–323.
32. Bertuzzi R, Nascimento EMF, Urso RP, Damasceno M, Lima-Silva AE. Energy system contributions during incremental exercise test. *J Sports Sci Med.* 2013;12(3):454–60.
33. Bassett D, Howley E. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):70–84.
34. Camic CL, Housh TJ, Johnson GO, Hendrix CR, Zuniga JM, Mielke M, et al. An EMG frequency-based test for estimating the neuromuscular fatigue threshold during cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108(2):337–45.
35. Barros CLM, Mendes TT, Pacheco DAS, Garcia ES. Efeitos do calor no OBLA: comparação entre ambiente quente e temperado. *Mot Rev de Educ Fis.* 2013;19(2):441–449.
36. Arratibel I (2015). Control del entrenamiento y fisiología del ejercicio. La controversia del umbral anaeróbico. *Arch Med Deporte.* 2015:273-274
37. Sitko S, Cirer-Sastre R, López Laval I. Effects of a low-carbohydrate diet on performance and body composition in trained cyclists. *Nutr Hosp.* 2019;36(6):1384–8.
38. Kofler T, Crichton J, Arancibia J, Sepúlveda R. Efecto de dos programas de entrenamiento con diferente distribución de intensidad (polarizada vs umbral) en el rendimiento aeróbico en ciclistas entrenados. *Retos.* 2021;(39),685-690.
39. Bernal-Reyes F, Peralta-Mendivil A, Gavotto-Nogales H, Placencia-Camacho L. Principios de entrenamiento deportivo para la mejora de las capacidades físicas. *Biotecnia.* 2014;16(3):42-49.
40. Pallarés J, Morán-Navarro R. Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria. *Journal of Sport & Health Research.* 2012;4(2):119-136.
41. Hydren J, Cohen B. Current Scientific Evidence for a Polarized Cardiovascular Endurance Training Model. *J Strength and Cond Res.* 2015;29(12): 3523-3530.
42. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc.* 1982.
43. Feriche B, Delgado M. Evolución y aplicación práctica del umbral anaeróbico en el entrenamiento deportivo. Revisión. *Eur J Hum Mov.* 1996;(2):39-53.
44. Connolly D. The anaerobic threshold: over-valued or under-utilized? A novel concept to enhance lipid optimization!. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2012;15(5):430-435.
45. Ayala F, de Baranda P. Calidad metodologica de los programas de estiramiento: Revisión sistemática.

46. Alonso-Curiel D, del Campo-Vecino J, Balsalobre-Fernández C, Tejero-González C, Ramírez-Parenteau C. Respuesta láctica de atletas de élite ante un entrenamiento específico para la prueba de 3.000 metros lisos. *Apunts Educ Fís Esports*. 2012;(107):90–6.
47. Rogers B, Giles D, Draper N, Mourot L, Gronwald T. Detection of the anaerobic threshold in endurance sports: Validation of a new method using correlation properties of heart rate variability. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2021;6(2):38.
48. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, San Juan AF, Pérez-Ruiz M, García-Fernández P, Veiga-Herreros P, et al. Respuestas cardiorrespiratorias a intensidad umbral. Estudio comparativo entre media sentadilla y cicloergómetro. *Rev Int Med Cienc Ac*. 2018;18(71):507–520.
49. López F, Martínez W, Acosta P. Entrenamiento pliométrico: efecto en atletas de élite. *Rev Digit Act Fis Deport (En línea)*. 2019;6(1):32–42.
50. Giovanelli N, Scaini S, Billat V, Lazzer S. A new field test to estimate the aerobic and anaerobic thresholds and maximum parameters. *Eur J Sport Sci*. 2020;20(4):437–43.
51. Browne R, Sales M, Sotero R, Asano R, Moraes J, Barros J, et al. Critical velocity estimates lactate minimum velocity in youth runners. *Motriz*. 2015;21(1):1–7.