



**Máster Universitario en Investigación en Actividade Física,  
Deporte e Saúde**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**FACTORES DETERMINANTES ANTROPOMÉTRICOS  
Y FISIOLÓGICOS EN ESCALADORES DE ÉLITE:  
REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**Autora:**

**Josefina Maestu Almeida**

**A Coruña, España**

**2021**

Josefina Maestu Almeida

**FACTORES DETERMINANTES ANTROPOMÉTRICOS Y  
FISIOLÓGICOS EN ESCALADORES DE ÉLITE: REVISIÓN  
SISTEMÁTICA**

Trabajo de fin de máster para presentar en la  
Universidad de la Coruña como requisito parcial  
para la obtención del título de Máster Universitario  
en Investigación en Actividade Física, Deporte e  
Saúde.

Eliseo Iglesias Soler, tutor: Máster Universitario en Investigación en  
Actividade Física, Deporte e Saúde

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	3
1.2. Objetivos .....	6
2. MÉTODOS.....	7
2.1. Protocolo y registro .....	7
2.2. Criterios de elegibilidad .....	7
2.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda .....	9
2.4. Búsqueda (estrategia) .....	10
2.5. Selección de estudios.....	11
2.6. Diagrama de flujo.....	14
2.7. Proceso de extracción de datos.....	14
2.8. Lista de datos.....	15
3. RESULTADOS .....	16
3.1. Antropometría .....	16
3.1.1. Composición corporal .....	18
3.1.2. Dimensiones del cuerpo .....	18
3.2. Fuerza muscular de la mano y antebrazo.....	20
3.2.1. Fuerza máxima de agarre .....	20
3.2.2. Cantidad de fuerza desarrollada por unidad de tiempo (RFD).....	23
3.3. Resistencia.....	25
3.3.1. Metabolismo anaeróbico aláctico .....	27
3.3.2. Capacidad oxidativa muscular.....	28
3.3.3. Integral fuerza-tiempo (FTI) .....	30
3.3.4. Eficiencia.....	30
3.3.5. Diferencias modalidades deportivas: búlder, dificultad y velocidad .....	31
4. DISCUSIÓN .....	33
5. CONCLUSIONES.....	40
6. LIMITACIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Agrupación de habilidades para hombres y mujeres y una gama de escalas de informes mostradas junto con la escala IRCRA. ....	5
Tabla 2. Lista de datos .....	15
Tabla 3. Resumen de los datos antropométricos informados para escaladores. ....	16
Tabla 4. Conjunto de todos los componentes predictores para el rendimiento de escalada (n=44).....	20
Tabla 5. Fuerza de prensión manual en escaladores y fuerza relativa .....	20
Tabla 6. Resumen de consumo de oxígeno máximo en escaladores. ....	26
Tabla 7. Parámetros fisiológicos en escalada deportiva: $VO_{2max}$ , FC T Lactado.....	27

## ANEXOS:

ANEXO 1: Muros de las modalidades de dificultad, boulder y velocidad.

ANEXO 2: JBI Critical Appraisal Checklist para estudios cuasiexperimentales

ANEXO 3: JBI Critical Appraisal Checklist for analytical cross sectional studies

ANEXO 4: Escala AXIS, para valoración de estudios transversales descriptivos

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

APE: relación entre la extensión de los brazos y la altura  
 BRZ: escala de grados de dificultad de Brasil.  
 Búlder: escalada en bloque  
 C: coeficiente de variación  
 C-HIPPER: Grupo internacional de investigación de escalada en roca de alto rendimiento BL:  
 lactato sanguíneo  
 cm: centímetro  
 COI: Comité Olímpico Español  
 E: escalador  
 EB: escalador de búlder  
 EF: escaladora  
 EBF: escaladora de búlder  
 EBM: escalador de búlder masculino  
 ECRB: Extensor radial corto del carpo  
 EDC: extensor común de los dedos  
 EDC: Extensor superficial de los dedos  
 EI: escalador que compite a nivel internacional  
 EL: escalador de dificultad  
 ELF: escaladora de dificultad  
 ELM: escalador dificultad masculino  
 EM: escalador  
 EMG: electromiograma de superficie  
 EV: escalador de velocidad  
 FCR: Flexor radial del carpo  
 FDP: Flexor profundo de los dedos  
 FDP: flexor profundo de los dedos  
 FDS: Flexor superficial de los dedos  
 FTI:(Integral Fuerza-tiempo  
 GC: grupo control  
 IFSC: Federación Internacional de Escalada  
 IMC: índice de masa corporal  
 IRCRA: Asociación Internacional de Investigación de Escalada en Roca  
 MVC: Contracción voluntaria máxima isométrica  
 m: metro  
 NE: no escalador  
 NIRS: espectroscopia de infrarrojo cercano  
 PICO: Patient, Intervention, Comparison, Outcome  
 PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systemic Reviews and Meta-analyses*  
 RFD: tasa de desarrollo de la fuerza  
 UIAA: International Climbing and Mountaineering Federation  
 YDS: Escala sistema decimal de Yosemite

## RESUMEN

La inclusión de la escalada como deporte olímpico está impulsando la evolución de la escalada competitiva a nivel local, mundial e internacional. Aspecto que requiere nuevos conocimientos en relación a los determinantes antropométricos y fisiológicos en escaladores de élite de las tres disciplinas: dificultad, boulder y velocidad. Los primeros estudios realizados en el ámbito de la escalada deportiva, sugieren que el perfil atlético ideal para la escalada es una baja estatura, baja masa corporal, baja grasa corporal, una alta relación de fuerza de la parte superior del cuerpo con la masa corporal, alta resistencia muscular dinámica e isométrica, en relación a la parte superior del cuerpo potencia y aptitud aeróbica de moderada a alta [1–5] y también el metabolismo anaeróbico aláctico y la economía del movimiento son fundamentales para el éxito en la escalada deportiva [6].

Los objetivos de esta revisión sistemática son: identificar los factores determinantes antropométricos y los determinantes fisiológicos en los escaladores de élite (los resultados que produce la adaptación al entrenamiento en los escaladores de élite, en las modalidades de dificultad, boulder y velocidad).

Las fuentes de datos fueron: Web of Science, Scopus, SportDiscus y PubMed.

Los participantes son escaladores de dificultad, boulder y velocidad, deportistas de escalada de élite y deportistas comparables.

Se utilizó las herramienta para evaluar el riesgo de sesgo en estudios JBI: Checklist for Quasi-Experimental Appraisal Tool, JBI Critical Appraisal Checklist for [7] y la herramienta AXIS.

Los próximos estudios deberían segregar claramente los determinantes fisiológicos entre las diferentes subcategorías de escalada, teniendo en cuenta estudios prospectivos, aleatorizados y relacionados con el entrenamiento deportivo.

A partir de los estudios analizados y los determinantes estudiados podemos determinar que las tres modalidades de escalada dificultad, boulder y velocidad, tienen diferentes requisitos de fuerza, velocidad y resistencia. Se ha encontrado que los escaladores de élite que se especializan en dificultad y boulder son más propensos a obtener una puntuación más alta en escalada combinada, ya que los resultados en estas disciplinas están relacionados. Para los escaladores que se especializan en la disciplina de velocidad, lograr una puntuación alta, en las otras dos modalidades, es complicado porque los resultados en la disciplina de velocidad no están relacionados con los resultados en las disciplinas de dificultad y boulder. Pero si se ha demostrado que la práctica de boulder y el entrenamiento de esta modalidad influye sobre las otras dos modalidades de escalada.

En consecuencia, los escaladores de nivel inferior deben centrar el entrenamiento en protocolos específicos de fatiga intermitente. Los escaladores de competición o de élite deben hacer uso de los descansos adecuados en la ruta para ayudar a la recuperación y aumentar las posibilidades de llegar a la siguiente presa.

**PALABRAS CLAVE: CLIMBER, PERFORMANCE, TRAINING, SUCCESS, FACTOR.**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los deportes de montaña han ido evolucionando poco a poco, a la vez que se han ido especializando, convirtiéndose algunos de ellos en deportes competitivos, y en el caso de la escalada, en disciplina olímpica.

La nueva era de la escalada de alto nivel se inició con la primera competición de escalada organizada a nivel mundial, en el año 1985, en la ciudad olímpica de Bardonecchia, Italia. Andrea Mellano, y Emanuele Cassarà, un conocido periodista deportivo italiano, reunieron a un grupo de los mejores escaladores para participar en un evento denominado *SportRoccia*, realizado en un peñasco natural en Valle Stretta. En 1988 se celebró la primera Copa del Mundo de Velocidad y Dificultad. En 1998 se introduce oficialmente la modalidad de escalada de boulder. Hoy en día, más de 75 países participan en competiciones de escalada que se celebran en todo el mundo. En el año 2006, la Federación Internacional de Escalad y Montañismo (UIAA) apoyó la creación de una Federación Internacional independiente y 57 federaciones fundaron la Federación Internacional de Escalada, la IFSC [8].

El 10 de diciembre de 2007, el Comité Olímpico Español (COI) otorgó el reconocimiento provisional a la IFSC, dando la bienvenida a la escalada deportiva al Movimiento Olímpico, siendo en el año 2011 cuando se incluyó la escalada deportiva en la lista final (con otros siete deportes) como un posible nuevo evento para los Juegos Olímpicos de Tokio 2020. El 3 de agosto de 2016 el COI acordó añadir la escalada en el programa deportivo Juegos Olímpicos Tokio 2020 [8].

En Tokio contará con tres disciplinas en formato *overall*: velocidad, boulder y lead. La escalada de velocidad enfrenta a dos escaladores en una pared de 15 metros. En boulder, los atletas escalan un número determinado de pasos en una pared de 4.5 metros en un tiempo específico.

En dificultad, los deportistas intentan escalar lo más alto posible en una pared que mide más de 15 metros de altura, dentro de un tiempo determinado (de 4 a 6 minutos). La clasificación final se determinará multiplicando los puntos de cada una de las posiciones conseguidas en las pruebas. Los escaladores con las puntuaciones más bajas serán los que ganen las medallas.

Este formato combinado ha conllevado muchas críticas, porque éstas 3 modalidades requieren diferentes cualidades y capacidades físicas. Aspecto considerado también por el Comité Ejecutivo del COI, cuando el 7 de diciembre de 2020, que confirmó oficialmente la inclusión de la escalada deportiva en el programa de los Juegos Olímpicos de 2024, en el que la velocidad será disciplina individual y la dificultad y boulder de forma combinada. Habrá por lo tanto 4 juegos de medallas. En Tokio participarán 40 deportistas y en París 68 [9].

Paralelamente a esta evolución como deporte competitivo, diferentes profesionales del ámbito deportivo y de la salud realizan investigaciones, muchas de las cuales se recogen en artículos científicos, libros y tesis. Algunas de estas investigaciones tratan de saber cuáles son los determinantes antropométricos, fisiológicos de los escaladores y/o escaladoras e incluso parámetros que distinguen los escaladores de dificultad y de boulder encontrando menos evidencia científica en la modalidad de la escalada de velocidad.

Como recomienda [10] los próximos estudios deberían segregar claramente entre las diferentes subcategorías de escalada. El objetivo de esta revisión es identificar los factores antropométricos y fisiológicos en escaladores de élite. Se pretende, si los estudios lo permiten, diferenciar entre los estilos de escalada: dificultad, boulder y velocidad, tanto masculinos y femeninas. Estos factores determinarán en gran medida el entrenamiento en cada modalidad y la recuperación, con el objetivo de mejorar las habilidades de los escaladores de las 3 modalidades a largo plazo y evitar lesiones.

## 1.1. Justificación

La escalada en roca es un deporte recreativo y competitivo cada vez más popular, con una creciente base de investigación [2,11–13].

Es importante evaluar los factores antropométricos y fisiológicos, estudiar las respuestas del organismo ante el entrenamiento y aplicar los estímulos precisos, porque con estos conocimientos se podrá focalizar el entrenamiento específico de las modalidades de escalada: dificultad, boulder y velocidad.

La escalada es fisiológicamente única en la necesidad de contracciones musculares isométricas sostenidas e intermitentes para la propulsión ascendente. Los determinantes del rendimiento de escalada no están claros, pero pueden atribuirse a variables entrenables en lugar de características antropométricas específicas [14].

La escalada de dificultad se caracteriza por tiempos de ascenso más largos de 2 a 7 minutos y una longitud de ruta de hasta 18 m. Las rutas de boulder son más cortas, y en las competiciones tienen una altura máxima de solo 4,5 metros, y los deportistas tienen varios intentos en un tiempo determinado, dependiendo de la competición de 4 a 6 minutos. La ruta de velocidad, de una altura de 15 metros, es vía estandarizada a nivel mundial, con la misma inclinación y las mismas presas. Los pasos de bloque de boulder son más potentes y requieren un esfuerzo intermitente intenso. En el anexo 1, se recogen imágenes de los muros de las modalidades de dificultad, boulder y velocidad.

Los muros sobre los que se practican las 3 modalidades de escalada que serán olímpicas, en formato overall, tienen características diferentes. El único que es igual en todo el mundo, en medidas, inclinación y presas es el muro de velocidad. Por lo que cabe esperar que el perfil de actividad del escalador de boulder, de escalada de dificultad y de velocidad, pueda ser diferente.

En el ámbito de la escalada deportiva se utilizan varias escalas de grados de dificultad, para indicar el grado dificultad de las vías de dificultad y/o pasos de boulder, que sirven de referencia a los escaladores, a la hora de realizar esas vías o pasos. Por ejemplo, en Europa se utilizan varias escalas, como la francesa, la UIAA o británica, finlandesa...en estados unidos y en Australia otras. Este aspecto ha tenido gran controversia, sobre todo a la hora de comparar datos a nivel científico. Hay por lo tanto mucha información proporcionada por los investigadores con respecto a las características de los escaladores y también en los enfoques empleados para convertir las escalas de clasificación de escalada a una escala numérica adecuada para el análisis estadístico [15].

En el año 2011 se crea la Asociación Internacional de Investigación de Escalada en Roca (IRCRA) y, fruto del trabajo de los componentes de esta asociación, se consensua relacionar varias escalas de graduación y crear la escala IRCRA. Ésta se recomienda para poder realizar estadísticas en estudios futuros para determinar el grado de dificultad en la escalada de dificultad y bloque [15]. Como se puede ver en la tabla 1, todas las escalas existentes, al menos en niveles de dificultad más altos, muestran una relación lineal con la escala IRCRA para determinar el grado en la escalada de dificultad y de bloque [15].

Tabla 1. Agrupación de habilidades para hombres y mujeres y una gama de escalas de informes mostradas junto con la escala IRCRA.

Climbing Group	Vermin	Font	IRCRA		YDS	French/sport	British Tech	Ewbank	BRZ	UIAA	Metric	
			Reporting	Scale							UIAA	Watts
Lower Grade (Level 1) Male & Female			1		5.1	1		4	I sup	I	1.00	
			2		5.2	2		6	II	II	2.00	
			3		5.3	2+		8	II sup	III	3.00	
			4		5.4	3-		10	III	III+	3.50	
			5		5.5	3		12	IV	IV	4.00	
			6		5.6	3+		14	V	IV+	4.33	0.00
			7		5.7	4		16	V sup	V-	4.66	0.25
			8		5.8	4+		18	V	V	5.00	0.50
	VB	<2	9		5.9	5		20	V sup	V+	5.33	0.75
			10		5.10a	5+		22	VI	VI-	6.00	1.00
Intermediate (Level 2) Female	V0-	3	11		5.10b	6a		24	VI	VI+	6.33	1.25
	V0	4	12		5.10c	6a+		26	VI sup	VII-	6.66	1.50
	V0+	4+	13		5.10d	6b		28	VI sup	VII	7.00	1.75
	V1	5	14		5.11a	6b+		30	7a	VII+	7.33	2.00
		5+	15		5.11b	6c		32	7b	VIII-	7.66	2.25
		6A	16		5.11c	6c+		34	7c	VIII	8.00	2.50
Advanced (Level 3) Female	V3	6A+	17		5.11d	7a		36	8a	VIII+	8.33	3.00
	V4	6B+	18		5.12a	7a+		38	8b	IX-	8.66	3.25
Advanced (Level 3) Male	V5	6C	19		5.12b	7b		40	8c	IX	9.00	3.50
	V6	6C+	20		5.12c	7b+		42	9a	IX+	9.33	4.00
	V7	7A	21		5.12d	7c		44	9b	X-	9.66	4.25
	V8	7A+	22		5.13a	7c+		46	9c	X	10.00	4.50
Elite (Level 4) Female	V9	7B	23		5.13b	8a		48	10a	X+	10.33	5.00
	V10	7B+	24		5.13c	8a+		50	10b	XI-	10.66	5.25
Elite (Level 4) Male	V11	7C	25		5.13d	8b		52	10c	XI	11.00	5.50
	V12	7C+	26		5.14a	8b+		54	11a	XI+	11.33	6.00
	V13	8A	27		5.14b	8c		56	11b	XII-	11.66	6.25
	V14	8A+	28		5.14c	8c+		58	11c	XII	12.00	6.50
Higher Elite (Level 5) Female	V13	8B	29		5.14d	9a		60	12a			
	V14	8B+	30		5.15a	9a+		62	12b			
	V15	8C	31		5.15b	9b		64	12c			
Higher Elite (Level 5) Male	V16	8C+	32		5.15c	9b+		66				
								68				

**Nota.** IRCRA son las siglas de la Asociación Internacional de Escalada en Roca; YDS para el sistema decimal de Yosemite; BRZ para escala brasileña, UIAA para la Unión Internationale des Associations d'Alpinisme y Font par Fontainebleau. Fuentes: Watts, Draper et al. (2015).

La creación de esta tabla, supone un gran paso en el avance científico, porque a partir de esta podrá aplicarse en los artículos científicos pudiendo unificar los datos y variables, tener un mismo enfoque en análisis estadísticos y mejorar la facilidad de comprensión para los escaladores.

Para mejorar la comparabilidad entre los escaladores, se recomienda que los investigadores informen de los siguientes aspectos en un estudio:

- La identidad propia de los escaladores en el deporte: cómo se ven a sí mismos en términos de disciplina predominante (Búlder, escalador deportivo, etc.).
- Disciplinas en las que participan los escaladores (porcentaje de tiempo dedicado a cada uno) en los últimos 3 y 12 meses.
- Porcentaje de tiempo escalando en rocódromo o al aire libre en los últimos 3 y 12 meses.
- Tiempo medio (días por semana y horas por sesión) dedicado entrenar en una semana típica en los últimos 3 y 12 meses.
- Tiempo en el deporte – el número de años / meses de experiencia.
- Además, los investigadores podrían informar la preferencia de los escaladores por el estilo de ascenso (es decir, a vista, punto rojo, top rope) y por el terreno (vertical, desplomado, escalada de losas, variado) [15].

En esta revisión sistemática, los grados de dificultad de los artículos científicos anteriores a esta publicación, se adaptan a esta escala IRCRA.

## 1.2. Objetivos

La escalada en roca es un deporte recreativo y competitivo cada vez más popular, con una creciente base de investigación [2,11,16,17]. Esta revisión sistemática plantea los siguientes objetivos.

- Identificar los factores determinantes antropométricos.
- Identificar los determinantes fisiológicos en los escaladores de élite: los resultados que produce la adaptación al entrenamiento en los escaladores de élite en las modalidades de dificultad, búlder y velocidad.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Protocolo y registro

Esta revisión se define, documenta y detalla de manera anticipada a la extracción y análisis de la información, el problema del que se trata, los subgrupos de población de interés, los métodos y criterios de identificación y selección de los estudios, aspecto importante para evitar los posibles sesgos [18].

El método incluye búsquedas en distintas bases de datos y se especifica aspectos que han ayudado para afinar la búsqueda. Se adjunta una relación de los artículos encontrados, que no están referenciados en la presente revisión por cumplir los criterios de elegibilidad.

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura científica actual y se han tenido en cuenta los criterios PRISMA en el caso de revisiones [19].

### 2.2. Criterios de elegibilidad

Se ha intentado definir bien el problema de la investigación y plantear unos objetivos bien formulados, para que éstos sirviesen de ayuda para determinar los criterios de elegibilidad, la búsqueda de estudios, la recogida de datos de estudios incluidos e incluso la presentación de los resultados.

Los criterios se establecen atendiendo a los objetivos del estudio, a pesar de ello hay unos que se contemplan y que no deben faltar nunca en una revisión (Sánchez-Meca, 2010), población, exposición o intervención, comparación y resultados (PICO) [20].

Por lo tanto, esta revisión siguió el marco de participantes, intervenciones, comparaciones, resultados y diseño del estudio PICO.

**Población:** son escaladores de dificultad, boulder y velocidad, deportistas de escalada de élite y deportistas comparables.

**Intervención:** la exposición fue aumentando tanto en el grupo de estudio como en los grupos de control. Se tienen en cuenta diseños de estudio, la naturaleza de la intervención realizada y el tiempo de las intervenciones que se van a utilizar.

**Comparación:** se mencionan comparadores a lo largo de la revisión, como la fuerza de agarre de los dedos y el IMC, comparaciones de aspectos fisiológicos entre escaladores de boulder, dificultad y velocidad, y/o otros deportistas.

**Resultados:** varios parámetros de resultado como escalar más, mayor nivel de escalada en la escala IRCRA, aumentar la fuerza muscular y analizar los determinantes de éxito de los

**Tipo de estudios:** los estudios analizados fueron no aleatorios, donde los investigadores controlan la asignación en los participantes en grupos. Estos se dividieron en comparativos y no comparativos.

Teniendo en cuenta la evaluación de la calidad metodológica (riesgo de sesgo) es un paso importante antes del inicio del estudio. Por lo tanto, juzgar con precisión el tipo de estudio es la primera prioridad y la elección de la herramienta adecuada también es importante [21].

Se utilizó la herramienta riesgo de sesgo en estudios JBI: Checklist for Quasi-Experimental Appraisal Tool. CUAXIEXPERIMENTALES (anexo 2). Esta herramienta se desarrolla para evaluar el riesgo de sesgo en la estimación de la efectividad comparativa (daño o beneficio) de las intervenciones en estudios que no adoptan la aleatorización en la asignación de unidades (individuos o grupos de individuos) en grupos de comparación [20].

Por otro lado, también hemos analizado estudios transversales, los cuales se utilizan para proporcionar datos de las variables de una población definida en periodo o momento determinado. Dentro de estos hemos analizado los estudios descriptivos transversales, los cuales examinan los datos de las variables en una población particular y en un momento determinado. Y por otro lado, también se han analizado estudios transversales analíticos, en los datos se utilizaron para inferir relaciones entre las variables con la escala JBI Critical Appraisal Checklist for [7] (Anexo 3).

La herramienta AXIS, se ha utilizado para la valoración de los estudios transversales descriptivos, porque la JBI no es adecuada. La escala AXIS es una herramienta de evaluación crítica que aborda el diseño del estudio y la calidad de los informes, así como el riesgo de sesgo en el estudio transversal que se desarrolló en 2016 y contiene 20 ítems [20,22] (Anexo 4).

### **Criterios de inclusión**

De 1709 resultados y después de seleccionar todos los encabezados, quedaron 357 resúmenes, de los cuales se incluyeron 92 manuscritos primarios y 6 revisiones.

### **Criterio de exclusión**

Se excluyeron los manuscritos que no tenían la disponibilidad de texto completo, los que no cumplen objetivos atendiendo a título y/o resumen, los duplicados, los artículos relacionados: con la escalada de animales, lesiones, osteoartritis, alpinismo, montañismo, libros, capítulos, actas, y estudios de casos.

## **2.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda**

En esta revisión solo se han tenido en cuenta artículos científicos ya publicados y no se ha consultado la denominada bibliografía “gris”: tesis doctorales, actas de congresos..., ni contactado, ni intercambiando información con expertos en el tema. Se ha realizado una

búsqueda electrónica en varias bases de datos, teniendo en cuenta las autorizaciones de la Universidade da Coruña y una búsqueda manual, a partir de revisar la lista de referencia de los artículos encontrados.

El artículo de Watts et al. [1] se solicitó a través de préstamo interbibliotecario de la Univesidade da Coruña, porque no se pudo localizar el artículo de otra forma y se consideró un artículo importante, por ser ampliamente citado por los restantes investigadores relacionados con los objetivos de la presente revisión.

En las bases de datos utilizadas se han especificado alertas de los nuevos artículos relacionados con esta revisión, desde que se finalizó la búsqueda en las bases de datos el 31 de marzo hasta el 25 de mayo de 2021, artículos que se han tenido en cuenta tal como se especifica en el diagrama de flujo PRISMA, apartado 2.6 de esta revisión. Se recibieron 7 alertas, de las cuales solo se incluyó un artículo.

#### 2.4. Búsqueda (estrategia)

Se realizaron búsquedas bibliográficas en las siguientes bases de datos: Web of Science, Scopus, SportDiscus y PubMed.

Se incluyeron todos los artículos desde el 1 de enero de 1985 hasta el 31 de marzo de 2021 y los artículos de las alertas recibidas, como se menciona en el apartado anterior. Se realiza la búsqueda desde 1985 porque es en este año cuando se realizó la primera competición de escalada de alto nivel organizada a nivel mundial en Bardonecchia, Italia.

La estrategia se dividió en dos componentes, tal como se muestra en la estrategia de búsqueda, con *operadores Boolean*: **CLIMBER\* AND (PERFORMANCE OR TRAINING OR SUCCESS OR FACTOR\* OR PHYSIOLOGY).**

En esta búsqueda se tuvieron en cuenta los criterios de elegibilidad que constan en el apartado 2.2 de esta revisión sistemática.

## 2.5. Selección de estudios

El proceso de selección fue el siguiente:

Se inicia la revisión en las bases de datos mencionadas, teniendo en cuenta los aspectos de refinado que constan a continuación por cada base de datos consultada:

**Los criterios de refinado que se ha utilizado en cada base de datos son los siguientes:**

En **Web of Science** se han encontrado inicialmente 2847 registros. La búsqueda se ha realizado por tema y los resultados han sido refinados de la siguiente forma quedando finalmente un total de 1.202 registros:

Periodo de tiempo: desde 1985 hasta el 31 de marzo de 2020.

Dominios de investigación:

- Science technology (1.202)
- Social Sciences (594)

Bases de datos:

- Colección principal de Web of Science (1.168)
- Medline® (847)
- Current Contents Connect (730)
- SciELO Citation Index (20)
- KCI - Korean Journal Database (1)
- Russian Science Citation Index (2)

Tipos de documento: Artículos (1.200), Revisiones (82)

Áreas de investigación:

- Physiology (852),
- Sport sciences (688) y
- Social sciences other topics (522)

Idiomas: inglés (1.194), español (30)

En **Scopus** inicialmente se han encontrado 1.055 registros. La búsqueda se ha realizado por resumen y los resultados han sido refinados de la siguiente forma quedando finalmente 73 registros:

Acceso abierto (73)

Desde 1985 hasta actualidad (73)

Áreas: profesiones de la salud (55), ciencias sociales (22)

Tipo de documento: artículos (68), revisiones (5)

Etapas de publicación final (3)

Idioma: inglés (72), español (1)

En **SportDiscus with Full Text**, la búsqueda se ha realizado por resumen y se encontraron inicialmente 478 registros. Los resultados han sido refinados de la siguiente forma, quedando finalmente 173 registros:

Texto completo: 173

Tipos de fuentes: publicaciones académicas (173)

Idiomas: inglés (168), español (5)

En **PubMed** se encontraron inicialmente 993 registros. Los resultados han sido refinados de la siguiente, quedando finalmente 254 registros:

- Texto completo gratis y texto completo (254)
- Desde 1 de enero de 1985 hasta 30 de marzo de 2021 (254)

Se seleccionan los artículos de cada base de datos teniendo en cuenta el título. Se integraron los resultados de la búsqueda de la Web os Science en Ednote y a continuación, los resultados de todas las bases de datos en el gestor bibliográfico Mendeley . a continuación:

- En el gestor bibliográfico Mendeley se eliminan los duplicados.
- Se elabora una tabla de selección en la que se recogen los artículos potencialmente elegibles, que pudiesen responder a la pregunta inicialmente planteada en esta revisión.
- Se elabora un documento con todos los artículos seleccionados por título y los resúmenes de estos, teniendo en cuenta el orden alfabético por autor.
- En este documento atendiendo a los siguientes criterios de exclusión, se especifica en cada artículo si está relacionado y el por qué, o si no lo está también el motivo. En algunos de los artículos se lee el texto entero para determinar mejor esta relación y además se especifica si se considera un buen artículo, muy bueno o malo, teniendo en cuenta los aspectos indicados en esta revisión.

## 2.6. Diagrama de flujo

Diagrama de flujo PRISMA 2009

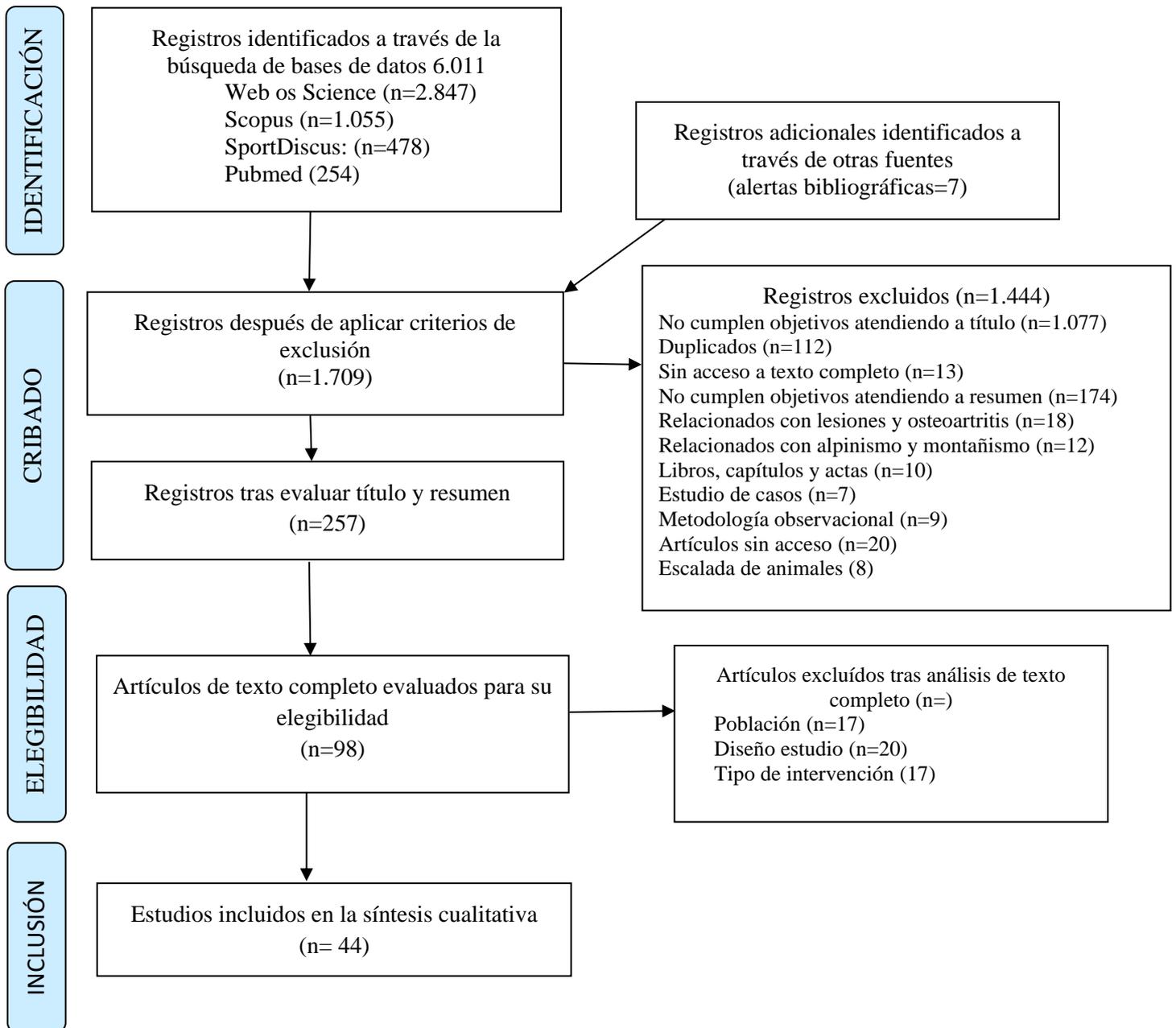


Ilustración 1. Diagrama de flujo.

De: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group [19]. Pse refirió a Reporting Items para Systematic Reviews y Meta-Analyses: ThePRISMA Statement. PLoS Med 6(7):e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

## 2.7. Proceso de extracción de datos

Los datos de los artículos se extraen mediante en una tabla de Excel en Microsoft® Office Profesional Plus 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EE.UU.). Se registraron las siguientes características del estudio: autor, año de publicación, tipo de estudio, tamaño del grupo, número de hombres, número de mujeres, intervención y variables.

Estas variables se recogen en el siguiente apartado:

## 2.8. Lista de datos

Tabla 2. Lista de datos

Aspectos	Variables
Características de nivel y entrenamiento	Escaladores (E) Escaladores de búlder (EB) Escaladores de dificultad (EL) Escaladores de velocidad (EV) Femeninos (F) Masculinos (M) Si son semifinalistas de competiciones nacionales. Si son finalistas de competiciones nacionales Si son internacionales (I) No escaladores (NS) Nivel medio Nivel avanzado Élite Edad
Nivel de escalada	Grado en escalada según escala IRCRA
Factores antropométricos	Altura Masa Índice de masa corporal (IMC) Porcentaje de grasa corporal Envergadura de brazos Índice de mono
Fuerza muscular	Fuerza máxima de agarre de dedos Contracción isométrica máxima Contracción isométrica máxima/peso corporal RDF (Rate of force Development (cantidad de fuerza desarrollada por unidad de tiempo) Relación peso potencia
Resistencia muscular	FTI (Integral Fuerza-tiempo) cantidad de fuerza que se puede mantener durante x tiempo continuo o intermitente
Metabolismo	Consumo máximo de oxígeno (VO <sub>2</sub> máx.), Frecuencia cardiaca Lactato Metabolismo Anaeróbico aláctico (10-12 s) Capacidad oxidativa del flexor profundo dedos (directamente proporcional al grado máximo encadenado Flujo sanguíneo del antebrazo Capacidad de desoxigenación y reoxigenación muscular Eficiencia energética: Menor gasto energético Mejora del uso de vías respiratorias.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Antropometría

A continuación, se recogen datos antropométricos de diferentes artículos analizados en esta revisión sistemática: evaluaciones antropométricas y fisiológicas, las cuales se realizaron en condiciones de laboratorio controladas.

Tabla 3. Resumen de los datos antropométricos informados para escaladores.

Referencias	Escaladores de nivel	Grado en escala IRCRA	EDAD $\pm$ SD	Altura (m) $\pm$ SD	Masa (kg) $\pm$ SD	Índice de masa corporal (kg / m <sup>2</sup> ) $\pm$ SD	Grasa corporal % $\pm$ SD y método	Envergadura de brazos (cm) $\pm$ SD	Índice mono $\pm$ SD
[1]	EM: 21 semifinalistas EEUU	25	1,78 $\pm$ 6,5	177,8 $\pm$ 0.065	66.6 $\pm$ 5.5	-	4.7 $\pm$ 1.3 Jackson & Pollock (JP)	-	-
[1]	EM: 7 finalistas	27	1,79 $\pm$ 5,2	179,3 $\pm$ 0.052	62.4 $\pm$ 4.5	-	4.8 $\pm$ 2.3 (JP)	-	-
[1]	EF: 18 semifinalistas	21	165 $\pm$ 4	165,4 $\pm$ 0.040	51.5 $\pm$ 5.1	-	10.7 $\pm$ 1.7 (JP)	-	-
[1]	E: 6 finalistas	23	1,62 $\pm$ 4,6	162,3 $\pm$ 0.046	46.8 $\pm$ 4.9	-	9.6 $\pm$ 1.9 (JP)	-	-
[2]	EM 52	17	13,5 $\pm$ 3,0	162,2 $\pm$ 15,6	51,5 $\pm$ 13,6	19,1 $\pm$ 2,2	11,0 $\pm$ 2,8 (JP)	-	1,02 $\pm$ 0,02
[2]	EF: 38	15	13,5 $\pm$ 3,0	151,3 $\pm$ 11,9	40,6 $\pm$ 9,6	17,5 $\pm$ 2,1	15,9 $\pm$ 2,9 (JP)	-	1,01 $\pm$ 0,0
[2]	NE: 45 otros deportes	-	13,5 $\pm$ 3,0	167,1 $\pm$ 14,0	54,1 $\pm$ 15,0	19,0 $\pm$ 3,2	18,7 $\pm$ 6,9 (JP)	-	0,95 $\pm$ 0,15
[4]	EM: 11	22	30,2 $\pm$ 6,3	172,7 $\pm$ 6,2	58,4 $\pm$ 5,6	19,6 $\pm$ 0,9	11,0 $\pm$ 3,2 TANITA electronic BIA scale	181,1 $\pm$ 8,0	1,05 $\pm$ 0,03
[4]	EF: 10	21	32,2 $\pm$ 5,5	158,6 $\pm$ 4,6	48,7 $\pm$ 3,5	19,4 $\pm$ 1,0	27,3 $\pm$ 3,4 TANITA electronic BIA scale	166,5 $\pm$ 11,7	1,05 $\pm$ 0,06
[23]	ELF: 13	15,6 $\pm$ 1,4	38 $\pm$ 11,5	165 $\pm$ 7,7	60,5 $\pm$ 7,3	22,2 $\pm$ 2,6	29,2 $\pm$ 7,5	168,0 $\pm$ 9,1	1,01 $\pm$ 0,01
[23]	ELF: 28	16,6 $\pm$ 2,6	31,1 $\pm$ 9	164 $\pm$ 5,6	60,1 $\pm$ 6,7	22,1 $\pm$ 2,3	27 $\pm$ 5,7	167 $\pm$ 6,8	1,01 $\pm$ 0,02
[23]	ELF: 14	19,5 $\pm$ 2,6	28,3 $\pm$ 7,9	163 $\pm$ 4,7	56,5 $\pm$ 6,3	21,2 $\pm$ 2,0	23,3 $\pm$ 4,8	165 $\pm$ 7,5	1,00 $\pm$ 0,0
[23]	EBF avanzado bajo: 13	17,0 $\pm$ 1,8	38 $\pm$ 11,5	165 $\pm$ 7,7	60,5 $\pm$ 7,3	22,2 $\pm$ 2,6	29,2 $\pm$ 7,5	168,0 $\pm$ 9,1	1,01 $\pm$ 0,01
[23]	EBF avanzado alto: 28	19,3 $\pm$ 0,9	31,1 $\pm$ 9	164 $\pm$ 5,6	60,1 $\pm$ 6,7	22,1 $\pm$ 2,3	27 $\pm$ 5,7	167 $\pm$ 6,8	1,01 $\pm$ 0,02
[15]	EBF élite: 14	20,9 $\pm$ 2,3	28,3 $\pm$ 7,9	163 $\pm$ 4,7	56,5 $\pm$ 6,3	21,2 $\pm$ 2,0	23,3 $\pm$ 4,8	165 $\pm$ 7,5	1,00 $\pm$ 0,0
[24]	EB: 12	25	25,3 $\pm$ 4,9	177,7 $\pm$ 4,9	70,2 $\pm$ 6,2	22,3 $\pm$ 2,0	12,1 $\pm$ 4,3	-	-
[24]	NE: 12, entrenados aeróbicamente	-	22,7 $\pm$ 2,5	181,5 $\pm$ 5,9	73,4 $\pm$ 9,7	22,2 $\pm$ 2,5	13,8 $\pm$ 5,6	-	-
[25]	EM: 24	12	30,4 $\pm$ 6	177,4 $\pm$ 8,8	72,8 $\pm$ 11,6	-	9,8 $\pm$ 3,5 (JP)	185,4 $\pm$ 9,6	1,0 $\pm$ 0,02
[25]	EF: 20	9	32,2 $\pm$ 9,2	166,4 $\pm$ 5,7	60,1 $\pm$ 5,9	-	20,7 $\pm$ 4,9 (JP)	168,6 $\pm$ 8,4	1,0 $\pm$ 0,03
[26]	E: 30 polacos	>20	27 $\pm$ 5,45	177,9 $\pm$ 5,59	68,85 $\pm$ 5,02	21,80 $\pm$ 1,70	10,41 $\pm$ 3,28	180,09 $\pm$ 7,02	1,01 $\pm$ 0,02
[27]	EB:10	-	-	173,69 $\pm$ 3,33	64,65 $\pm$ 5,7	21,44 $\pm$ 1,99	12,67 $\pm$ 2,77	178,02 $\pm$ 2,93	1,025 $\pm$ 0,01
[27]	Estudiantes: 165	-	-	179,36 $\pm$ 6,219	72,11 $\pm$ 8,96	22,4 $\pm$ 2,46	15,66 $\pm$ 2,74	183,56 $\pm$ 7,37	1,023
[28]	Grupo control: NE:11	-	26,7 $\pm$ 4,2	180,0 $\pm$ 5,0	74,9 $\pm$ 13,5	16,97 $\pm$ 8,39	-	-	-
[28]	EL: 13	-	26,1 $\pm$ 5,3	177,6 $\pm$ 8,7	71,1 $\pm$ 8,2	14,9 $\pm$ 7,96	-	-	-
[28]	EB: 10	-	27,5 $\pm$ 5,7	175,8 $\pm$ 8,7	72,7 $\pm$ 6,2	10,01 $\pm$ 3,89	-	-	-
[29]	Control NEM: *Niueva Zelanda	-	26 $\pm$ 2	1,78 $\pm$ 0,07	79 $\pm$ 11	19 $\pm$ 11	-	-	-
[29]	ELM Intermedio:	18 $\pm$ 0,5	29 $\pm$ 4	1,78 $\pm$ 0,09	80 $\pm$ 12	20 $\pm$ 4	-	-	-

[29]	ELM Avanzado:	22 ± 1	27 ± 5	1,79 ± 0,07	72 ± 10	12 ± 4	-	-	-
[29]	<b>ELM Élite:</b>	<b>25 ± 1</b>	<b>30 ± 9</b>	<b>1,795 ± 0,09</b>	<b>69 ± 5</b>	<b>12 ± 3</b>	-	-	-
[30]	<b>EM: 6</b>	<b>29</b>	<b>26,7 ± 5,54</b>	<b>179,2 ± 6,39</b>	<b>70,5 ± 9,79</b>	<b>21,8 ± 1,58</b>	-	-	-
[30]	EF: 6	25	24,2 ± 2,14	162,1 ± 2,60	54,1 ± 3,63	20,3 ± 4,13	-	-	-
[30]	NEM: 6	-	26,8 ± 2,14	178,2 ± 6,62	73,7 ± 6,39	23,2 ± 0,99	-	-	-
[30]	NEF: 6	-	26,0 ± 1,27	170,8 ± 7,03	63,5 ± 9,44	21,7 ± 2,25	-	-	-
[31]	<b>E de élite: 10</b>	<b>&gt;26</b>	<b>27,3 ± 15,2</b>	<b>1,75 ± 0,11</b>	<b>67,2 ± 13,6</b>	<b>21,8 ± 3,9</b>	7,43 ± 1,89 Analizador de composición corporal <b>Tanita</b> (ACC)	<b>1,81 ± 0,06</b>	<b>1,03 ± 0,03</b>
[31]	E expertos: 16	19-21	26,5 ± 11,5	1,76 ± 0,08	69,9 ± 10,24	22,6 ± 3,1	7,95 ± 2,39 (ACC)	1,81 ± 0,06	1,02 ± 0,02
[31]	E novatos: 15	4-7	23,0 ± 11,4	1,76 ± 0,09	70,5 ± 14,78	22,6 ± 3,8	9,42 ± 1,82 (ACC)	1,81 ± 0,06	1,00 ± 0,03
[32]	<b>EBI: 7</b> <b>franceses, 6 en</b> <b>ranking de los</b> <b>20 mejores del</b> <b>mundo:</b>	<b>25</b>	<b>26,1 ± 3</b>	<b>1,73 ± 5</b>	<b>63,9 ± 3,6</b>	<b>20,9 ± 2,1</b>	<b>8,-7 ± 33 (ACC)</b>	<b>180,6 ± 9</b>	<b>1,02 ± 0,1</b>
[32]	EBI grupo control: 7		26,1 ± 1,2	1,75,9 ± 6	64,5 ± 3,3	21,7 ± 1,9	9,2 ± 31,4 (ACC)	178,1 ± 8	1,02 ± 0,1
[33]	<b>EBI: 12</b>	<b>&gt;29</b>	<b>24,6 ± 3,6</b>	<b>175 ± 5,4</b>	<b>64,8 ± 7,3</b>	<b>21,2 ± 1,7</b>	<b>9,5 ± 2,5 (ACC)</b>	-	-
[33]	E avanzados: 10	21°-23	26,8 ± 7,2	177,3 ± 0,6	65,3 ± 6,2	20,9 ± 2,1	9,3 ± 3,7 (ACC)		
[33]	NE: 9	<b>&lt;10</b>	27,2 ± 3,2	178,3 ± 0,9	81,4 ± 13,9	25,7 ± 4,5	17,7 ± 7,9 (ACC)		
[33]	EB expertos: 10	21-23	26,8 ± 7,2	177,3 ± 0,6	65,3 ± 6,2	20,9 ± 2,1	9,3 ± 3,7 (ACC)	-	-
[34]	EB: 11	28	26,3 ± 4,7	174,91 ± 4,23	64,85 ± 3,00	-	7,43 ± 1,89	180,50 ± 5,62	1,03 ± 40,02
[34]	EL: 8	27	22,6 ± 5,5	177,98 ± 8,23	62,03 ± 3,96	-	7,95 ± 2,39	177,98 ± 8,23	1,02 ± 40,01
[34]	EV: 5	6,28 ± 0,81	24,2 ± 5,5	182,80 ± 4,40	68,94 ± 6,86	-	68,94 ± 6,86	182,80 ± 4,4	1,03 ± 40,02
[17]	NE: 9		26 ± 6	178 ± 7	78,8 ± 11,2	19 ± 11		-	-
[17]	E intermedios: 9	12	29 ± 4	178 ± 9	79,6 ± 13	20 ± 4	4,8 ± 2,3	-	-
[17]	E élite: 10	22	30 ± 9	175 ± 7	71,8 ± 10,3	12 ± 3	4,7 ± 1,3	-	-
[35]	EM: 9	24	25,5 ± 10,2	178,0 ± 6,5	73,0 ± 4,1	19,5 ± 0,5	10,7 ± 1,7	-	-
[35]	<b>EF: 3</b>	<b>23</b>	<b>25,3 ± 7,6</b>	<b>167,6 ± 2,1</b>	<b>54,3 ± 0,6</b>	<b>17,7 ± 0,6</b>	<b>9,6 ± 1,9</b>	-	-
[35]	NE: 13 sin entrenamiento de manos o miembros superiores	-	27,6 ± 4,0	178,2 ± 5,1	70,2 ± 5,9	18,8 ± 0,9	4,4 ± 2,2	-	-
[36]	EMI: 9	23	22,2 ± 1,6	1,76 ± 0,04	65,5 ± 3,2				
[36]	EM sin contracciones de brazo	10	24,0 ± 1,8	1,78 ± 0,05	74,0 ± 3,0 kg				
[11]	EM: 6 y EF: 6 expertos	19	30	166,5 ± 6,1	58,5 ± 8,3	20,4 ± 6,7	13,3 ± 3,3 DXA		
[11]	EM: 2 y <b>EF2:</b> <b>élite</b>	23	30	169,5 ± 8,1	62,5 ± 5,9	17,8 ± 9,4	25,2 ± 3,6 DXA		
[27]	EM élite: 6	25-27	28,5 ± 6,1	177,38 ± 5,61	66,92 ± 5,83	21,18 ± 1,04	58,93 ± 4,00	189 ± 5,43	1,01 ± 0,02
[27]	EM avanzados: 14	21-23	28,5 ± 6,1	177,85 ± 3,74	71,11 ± 4,28	22,25 ± 1,46	61,54 ± 2,97	181,87 ± 5,61	1,02 ± 0,02
[37]	EB: 10, franceses competidores internacionales	19	12,2 ± 7,7	10,8 ± 0,8	26,8 ± 7,6	180,4 ± 8,1	69,7 ± 9,2		
[37]	EL: 10	22	12,3 ± 3,2	10,8 ± 1,2	27,0 ± 5,5	179,1 ± 5,5	69,3 ± 7,4		
[37]	NE: 10	0			24,7 ± 3,9	179,6 ± 6,2	78,2 ± 4,1		
[31]	<b>E de élite: 10</b>	<b>&gt;26</b>	<b>27,3 ± 15,2</b>						
[31]	E expertos: 16	19-21	26,5 ± 11,5						
[31]	E novatos: 15	4-7	23,0 ± 11,4						

E= escaladores, M= masculinos, F= femeninas, L= dificultad, B= búlder, I= internacionales, NE= no escaladores.  
JP=Jackson & Pollock) DXA, absorciometría dual de rayos-x

### 3.1.1. Composición corporal

En los datos que se recogen en la tabla podemos observar que los escaladores tienen poca estatura, bajo porcentaje de grasa corporal y una alta resistencia al agarre en relación a la masa corporal [1,3,4,16]. En el estudio de Wastts et al. [1] se recopilaron datos antropométricos sobre 21 hombres y 18 mujeres, semifinalistas en una competición de escalada en una Copa del Mundo. Usando la suma de pliegues cutáneos, con el método de Jackson y Pollock para evaluar y calcular la composición corporal, se encontraron cifras tan bajas como el 5% en los sujetos.

Romero et al. [11] evaluaron la composición corporal en 12 escaladores expertos (nivel >7b) y 4 escaladores de élite (nivel >8a) mediante el DXA. Los valores de masa libre de grasa fueron  $42,9 \pm 8,69$  kg en escaladores expertos y  $47,2 \pm 8,93$  kg en escaladores de élite. No se observaron diferencias significativas entre estos valores. Aun así, se necesitan más estudios para establecer conclusiones sobre este parámetro.

En el estudio realizado por [4] los escaladores en comparación con las estadísticas nacionales chinas, estos escaladores chinos tenían más bajas: la masa corporal, el IMC, el porcentaje de grasa corporal, y la frecuencia cardíaca en reposo; estatura similar, fuerza de empuñadura y presión arterial en reposo. En relación con los estudios sobre escaladores de élite occidentales, los escaladores chinos eran más bajos. El tamaño corporal y la capacidad aeróbica; mientras que el IMC, el porcentaje de grasa corporal, la relación fuerza/masa corporal eran similares. Además, ambos géneros poseían un Índice de mono >1.

### 3.1.2. Dimensiones del cuerpo

La extensión de los brazos se midió en posición de pie con los brazos en abducción horizontal. La mayor distancia de punta a punta entre los dedos extendidos se registró en centímetros. La relación entre la extensión de los brazos y la altura, conocida por los

escaladores como el índice de mono, se calculó dividiendo la extensión de los brazos por la altura.

La relación entre envergadura de brazos y altura sitúan la significación en valores superiores a 1,00 [4,25,26,31,32,38,39]. En este estudio estos valores fueron superiores a 1,00 y fueron similares a los valores observados por [40] para los escaladores adultos masculinos (1,00-1,08) y femeninos (0,96-1,11).

Mermier et al. [25] realizaron una investigación, con 24 hombres y 20 mujeres, de varios niveles de habilidad, en la que estos subieron dos rutas en días separados para evaluar el rendimiento de la escalada. Los resultados de cada ruta se combinaron para obtener una puntuación total de rendimiento de escalada. Las variables medidas para cada sujeto incluyeron antropométricas (altura, peso, longitud de las piernas, extensión de los brazos, % de grasa corporal), demográficas (calificación de escalada auto informada, años de experiencia en escalada, horas semanales de entrenamiento), y fisiológico (extensión de rodilla y hombro, flexión de rodilla, agarre y fuerza de pinza de dedos, brazo doblado colgado, resistencia de agarre, flexibilidad de cadera y hombros, y potencia anaeróbica de la parte superior e inferior del cuerpo). Estas variables se combinaron utilizando un procedimiento de análisis de componentes principales. Para realizar a continuación, un procedimiento de regresión múltiple simultánea para determinar qué componentes explican mejor la variación en el rendimiento de la escalada deportiva.

Este análisis extrajo tres componentes: entrenamiento, antropométrico y flexibilidad sobre la base de las variables medidas que fueron las más influyentes en la formación de cada componente. Los resultados del procedimiento de regresión múltiple indicaron que el componente de entrenamiento explicó de forma única el 58,9% de la varianza total en el rendimiento de escalada. Los componentes antropométricos y de flexibilidad explicaron el

0,3% y el 1,8% de la variación total en el rendimiento de escalada, respectivamente, con lo que se concluye que variación en el rendimiento de escalada se puede explicar por un componente que consta de variables entrenables (tabla 3). Más importante aún, los hallazgos no apoyan la creencia de que un escalador necesariamente debe poseer características antropométricas específicas para sobresalir en la escalada deportiva [25].

*Tabla 4. Conjunto de todos los componentes predictores para el rendimiento de escalada (n=44)*

componente	B	$\beta$	Parte r <sup>2</sup>	T	p
Entrenamiento	9.967	0.809	0.589	8.31	0.001
Antropométrico	0.660	0.054	0.003	0.550	0.585
Flexibilidad	1.679	0.136	0.018	1.47	0.149

Fuente: [25]

### 3.2. Fuerza muscular de la mano y antebrazo.

#### 3.2.1. Fuerza máxima de agarre

Diferentes estudios han evaluado la fuerza de agarre máxima y la fuerza-resistencia del tren superior, centrándose en la fuerza y resistencia de prensión manual y fuerza de dedos. Decir que en los estudios revisados el protocolo de medida con el dinamómetro es diferente, así como los procedimientos de recogida de datos de resistencia del antebrazo/mano. En la tabla 5 se recogen valores de fuerza máxima recogidos de en trabajos de investigación y los valores relativos de esta fuerza en relación al peso corporal.

*Tabla 5. Fuerza de prensión manual en escaladores y fuerza relativa*

Referencia	Escaladores de nivel	Grado en escala IRCRA	Procedimiento	Fuerza (kg) $\pm$ SD	MVC (kg) / peso corporal BW (kg $\pm$ SD)	MVC (kg) / peso corporal BW (kg $\pm$ SD)
[1]	EM: 21 semifinalistas EE.UU	25	Dinamómetro manual	51,6 $\pm$ 6,4	506 $\pm$ 62,8	0,78 $\pm$ 0,06

[1]	EM: 7 finalistas	27	Dinámometro manual	48,7 ± 9,1	335 ± 60,0	0,65 ± 0,06
[1]	EF: 18 semifinalistas	21	Dinámometro manual	34,6 ± 5,2	506 ± 62,8	0,78 ± 0,06
[1]	E: 6 finalistas	23	Dinámometro manual	30,3 ± 3,1	335 ± 60,0	0,65 ± 0,06
[2]	EM: 52	17	Dinámometro manual	36,5 ± 12,9 <sup>^</sup>		0,7 ± 0,13
[2]	EF: 38 F	15	Dinámometro manual	25,1 ± 6,8 <sup>^</sup>		0,6 ± 0,08
[4]	EM: 11	22	TANITA electrónica BIA scale	48,1 ± 9,5		0,77 ± 0,07
[4]	EF: 10	21		23,4 ± 4,1		0,65 ± 0,14
	EFL: 13		Dinámometro específico de dedos (DEDS)	343 ± 46,8	343 ± 46,8	
[23]	EFL: 28	15,6 ± 1,4	DEDS		356,8 ± 53,5	
[23]	EFL: 14	16,6 ± 2,6	DEDS		408,4 ± 62,3	
[23]	EFL: 14	19,5 ± 2,6	DEDS		408,4 ± 62,3	
[23]	EFB avanzado bajo: 13	17,0 ± 1,8	DEDS		343 ± 46,8	
[23]	EFB avanzado alto: 28	19,3 ± 0,9	DEDS		356,8 ± 53,5	
[23]	EFB élite: 14	20,9 ± 2,3	DEDS		408,4 ± 62,3	
	EB: 12	25			562 ± 69	
	NE: 12, entrenados aeróbicamente				521 ± 69	
[24]						0,77 ± 0,14 <sup>d</sup>
[25]	EM: 24	12				0,55 ± 0,10 <sup>d</sup>
[25]	EF: 20	9				
			Dinámometro manual	41,5 ± 11,8*		0,7 ± 0,1*
[11]	EM: 6 y EF: 6 expertos	19	Dinámometro manual	40,1 ± 11,6 <sup>+</sup>		0,7 ± 0,1 <sup>+</sup>
[11]	EM: 6 y EF: 6 expertos	19	Dinámometro manual	45,2 ± 5,4*		0,7 ± 0,03*
[11]	EM: 2 y EF2: élite	23	Dinámometro manual	42,4 ± 6,2 <sup>+</sup>		0,7 ± 0,05 <sup>+</sup>
[11]	EM: 2 y EF2: élite	23	Dinámometro manual	42,4 ± 6,2 <sup>+</sup>		0,7 ± 0,05 <sup>+</sup>
[28]	Grupo control: 11 NE, a		DEDS	30 ± 29		
[28]	EL: 13		DEDS	49 ± 43		
[28]	EB: 10		DEDS	32 ± 46		
[36]	EMI: 9	23	DEDS	67,6 ± 5,9	412,3 ± 40,9	
[36]	EM sin contracciones de brazo	10	DEDS	56,2 ± 12,9	361,6 ± 52,1	
					567 ± 121	
[31]	E de élite: 10	>26	DEDS			
[31]	E expertos: 16	19-21	DEDS		548 ± 120	
[31]	E novatos: 15	4-7	DEDS		450 ± 122	

NOTA: DEDS= dinámometro específico de dedos, \* mano derecha; + mano izquierda, ^ media de valores de fuerza en mano derecha e izquierda, <sup>d</sup> lado dominante; <sup>nd</sup> lado no dominante

Los resultados de los datos recogidos en la tabla, pueden llegar incluso a ser contradictorios, porque no siempre los escaladores de más nivel, tienen mayores resultados. Pero si es más clarificadora la relación de fuerza relativa (fuerza/masa corporal). Cuando se evaluó en relación con el peso corporal los escaladores de élite puntuaron significativamente más alto.

En el estudio de Giles et al [23] se compara las características de 55 escaladoras experimentadas, divididas en tres categorías: inferior, superior avanzada y élite basadas en la capacidad auto informada. Se evaluaron potencia en la parte superior del cuerpo (MD = 12,9–16,6 cm) y fuerza de los dedos (MD = 51,6–65,4 N). El análisis de regresión lineal mostró que la fuerza de los dedos y la potencia de la parte superior del cuerpo se asociaron con la capacidad,

particularmente al ajustar las variables descriptivas y antropométricas (fuerza R de los dedos)<sup>2</sup> = 53% y 45%; potencia R de la parte superior del cuerpo<sup>2</sup> = 60% y 39% para búlder y deporte, respectivamente). Los hallazgos apoyan la importancia de la fuerza de los dedos y la potencia de la parte superior del cuerpo; los cambios en los datos antropométricos femeninos durante la última década proporcionan información sobre la naturaleza cambiante del deporte.

Varios estudios tratan la fuerza de los dedos como un requisito previo para su alto nivel [3,11]. El estudio de Magiera et al. [26] confirmó esta opinión. Según los valores canónicos, esta variable (*fuerza de los dedos*) fue la más significativa.

Ozimet et al. [27] realizaron un estudio con 20 EM, los cuales dividió en dos grupos: élite y avanzado, en el que se medía la fuerza de dedos y brazos. Los datos extraídos del mismo nos indican la importancia de la resistencia de la fuerza del brazo para los escaladores de élite. Compararon escaladores de élite (25-27 IRCRA) con avanzados (22-23 IRCRA) pudieron comprobar que los escaladores de élite con máximo lastre a 3 segundos, soportan un 14 % más de peso que los escaladores avanzados.

Vigoroux et Quaine [36] realizaron un estudio cuyo objetivo fue caracterizar la fatiga de los músculos del antebrazo identificada por la disminución de la frecuencia media del electromiograma y/o la fuerza de la yema de los dedos durante el ejercicio intermitente. La frecuencia media del electromiograma mostró una mayor disminución en los no escaladores que en los escaladores de élite antes del punto de falla. No se observaron cambios en la frecuencia media después del punto de falla en escaladores de élite. o en no escaladores.

En otro estudio [28] examinaron las diferencias en la cinética de oxigenación y las características de fuerza y resistencia de los EB y los EL de élite. Utilizando espectroscopia de infrarrojo cercano, 13 EB, 10 EL y 10-controles completaron evaluaciones del índice de

capacidad oxidativa y consumo de oxígeno muscular en el flexor profundo de los dedos (FDP), y extensor común de los dedos (EDC). Los índices de capacidad oxidativa FDP y EDC fueron significativamente mayores ( $p = .041$  y  $.013$ , respectivamente) en EL y EB en comparación con los controles (diferencia media =  $-1,166$ , IC del 95% ( $-3,264$  a  $0,931$  s) y diferencia media =  $-1,120$ , IC del 95% ( $-3,316$  a  $1,075$  s), respectivamente) sin diferencias entre disciplinas de escalada. Los escaladores tuvieron una integral fuerza-tiempo (FTI) significativamente mayor en comparación con los controles (diferencia media =  $2205$ , IC del 95% =  $1114$ – $3296$  y diferencia media =  $1716$ , IC del 95% =  $553$ – $2880$ , respectivamente) pero no entre disciplinas. integral fuerza-tiempo.

Poco a poco los trabajos de investigación van avanzando y se buscan otras alternativas para evaluar la resistencia a la fuerza anaeróbica de los músculos flexores del antebrazo, porque la escalada implica contracción isométrica intermitente y movimientos dinámicos. En el estudio de Schofft et al. [41] demuestran un diagnóstico de rendimiento específico utilizando un rocódromo giratorio como ergómetro de escalada. Veintiocho escaladores masculinos realizaron una prueba de escalón. El lactato sanguíneo máximo fue de  $5,0 \pm 1,3$  mmol / l (media  $\pm$  de), la longitud de escalada fue de  $39,1 \pm 15,7$  y la frecuencia cardíaca de  $185 \pm 10,7$  lpm. La pendiente media del gráfico de lactato en sangre (equitación de regresión) fue  $0,57 \pm 0,4$ . Hay una correlación positiva entre la frecuencia cardíaca, el lactato sanguíneo y la longitud o la intensidad de la escalada.

### 3.2.2. Cantidad de fuerza desarrollada por unidad de tiempo (RFD)

La RFD es un parámetro funcional esencial para poder realizar actividades que requieren capacidad de fuerza rápida. Los EB tienen una fuerza muscular máxima flexora de los dedos y la capacidad de fuerza rápida mayor que los EL. En el estudio de Fanchini et al. [37] se examinan las diferencias en la RFD entre atletas de las 2 principales especialidades de

escalada. Curiosamente, la RFD fue el parámetro que más diferenciaba el canto rodado de los EL. El pico de RFD durante una tarea de flexor isométrico de los dedos es 36,73% más alto en los EB que en los EL. Además, los escaladores fueron más fuertes que los no escaladores en la mayoría de las medidas de fuerza, con grandes diferencias entre EB y NE. Hasta donde sabemos, este es también el primer estudio en el que se consideraron escaladores con alta capacidad de escalada.

Levernier et al. [31] también evaluaron las diferencias físicas y antropométricas entre tres niveles de escaladores, y obtuvieron resultados similares. Todas las variables se combinaron en componentes mediante un análisis de componentes principales (PCA) y los componentes se utilizaron en un análisis de regresión múltiple con el objetivo de poder predecir la capacidad de escalada mediante el uso de un modelo de regresión múltiple. El PCA revela tres componentes, etiquetados como entrenamiento, músculo y antropometría, que juntos explican el 64,22% de la varianza. El modelo de regresión indica que las variables entrenables explicaron el 46% de la varianza total en la capacidad de escalar, mientras que la antropometría y las características musculares explican menos del 4% que en conjunto explican el 64,22% de la varianza.

En relación a la fuerza rápida Levernier y Laffaye [42] evaluaron el impacto de un programa de entrenamiento específico de 4 semanas teniendo en cuenta el agarre dedos en escaladores; específicamente, sobre la fuerza máxima y la RFD de los músculos de los dedos en contracción isométrica. El grupo experimental realizó un programa de entrenamiento específico de 4 semanas con suspensiones en pequeños agarres dos veces por semana. El grupo de control realizó solo ejercicios de escalada. La fuerza máxima y la RFD se registraron usando un dinamómetro específico en 3 condiciones de sujeción diferentes. Los resultados revelan una ganancia significativa de fuerza y un alto aumento de la RFD en los primeros 200 ms de la

pendiente fuerza-tiempo (entre 27,5 y 32% para condiciones promediadas), lo que sugiere una ganancia neural más bien que un cambio en la estructura músculo-tendinosa. Estos resultados revelan que un programa de entrenamiento de 4 semanas es suficiente para mejorar el nivel de fuerza máxima y la RFD en escaladores de élite.

Levernier y Laffaye realizaron otro estudio en el que querían evaluar la confiabilidad de test-retest entre sesiones e intrasiones y la diferencia entre escaladores de 3 niveles: internacionales, avanzados y NE, para la fuerza máxima del flexor de los dedos y la RFD en diferentes escalas del tiempo. Los antecedentes teóricos sobre la tasa de desarrollo de la fuerza sugieren que el valor registrado en esta escala de tiempo es la consecuencia del factor neural y muscular.

### 3.3. Resistencia

Si se considera la resistencia como la capacidad de mantener una contracción o una serie de contracciones hasta el agotamiento, la resistencia de agarre en toda la mano, es uno de los factores que diferencian un escalador de élite de uno avanzado. Fisiológicamente, los flexores del antebrazo juegan un papel importante en el éxito de la escalada; su radio de fuerza a peso, capacidad aeróbica y vasodilatadora, reoxigenación, conductancia y, por lo tanto, resistencia fueron significativamente más altas en escaladores de élite que en escaladores recreativos [10]. Es un factor diferencial de los EL de los EB [29].

Philippe et al. realizaron un estudio en el que se investigó la fuerza y la resistencia de los flexores de los dedos específicos de la escalada y la oxigenación muscular relacionada en 12 E de élite femeninos y masculinos y 12 NE. Se evaluó la máxima contracción voluntaria del flexor de los dedos (MVC), se realizaron dos pruebas isométricas de resistencia de los flexores

de los dedos al 40% de la MVC hasta el agotamiento. Una prueba isométrica continua fue seguida de una prueba isométrica intermitente (10 s de contracción, 3 s de reposo), se registraron mediante espectroscopia de infrarrojo cercano [30]. La MVC y la relación fuerza-peso fueron mayores en los E que en NE y mayor en hombres que en mujeres. El tiempo hasta la falla de la tarea para la prueba intermitente y las integrales fuerza-tiempo para la prueba continua e intermitente también fueron significativamente mayores en los E. Durante la prueba intermitente, la reoxigenación de los músculos activos fue más rápida en los escaladores. Se demostraron correlaciones estrechas entre el mejor rendimiento de escalada a la vista y la relación fuerza-peso solo en EF.

El consumo de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ) es la variable fisiológica más utilizada para definir la capacidad aeróbica de una persona. Este se ha evaluado en test de laboratorio [43,44], algunos incluyen estudios del tren superior [44] y en otros como se emplearon tests específicos en ergómetro especial [11].

Tabla 6. Resumen de consumo de oxígeno máximo en escaladores.

Estudio	Sujetos (n)	Nivel en escala IRCRA	Edad	Test	$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	Lactato sanguíneo después de escalar
[43]	4 EM	19		Tapiz rodante	$54,8 \pm 5,0$	$5,7 \pm 0,9$
[43]	4 EM	19		Tracción barra	$22,3 \pm 2,6$	$4,3 \pm 0,8$
[44]	6 E (élite)	>21	20	Cicloergómetro adaptado a parte superior del cuerpo	$36,5 \pm 6,2$	
[44]	6 E (principiantes)	<16	24		$35,5 \pm 5,2$	
[45]	2 EM y 2 EF (élite)	23	30	Ergómetro de escalada	$51,9 \pm 3,4$	
[45]	6 EM y 6 EF (expertos)	19	30	Ergómetro de escalada	$51 \pm 4,5$	
[46]	EV: 6 Élite chinos	$8,1 \pm 2,1$	$6,5 \pm 1,1$	Muro de velocidad de 15 metros		$7,6 \pm 1,9$

Billat y Col [43] evaluaron la participación del metabolismo energético en escaladores de élite durante el ascenso de rutas de escalada deportiva en rocódromo. En este experimento, los sujetos fueron sometidos a pruebas ergoespirométricas máximas realizadas en cinta rodante y con la extensión y flexión de brazos (*prueba de tracción*). El metabolismo oxidativo juega un

papel secundario, ya que durante los ascensos se solicita una fracción baja del  $VO_{2max}$  obtenido en cinta rodante. El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre el papel desempeñado por los procesos oxidativos y la capacidad aeróbica del escalador de élite.

Se observa que a medida que aumenta la dificultad de escalar, también lo hace el  $VO_{2max}$ , el gasto de energía y la frecuencia cardíaca por metro de ascenso.

Tabla 7. Parámetros fisiológicos en escalada deportiva:  $VO_{2max}$ , FC T Lactado

Estudio	Test/procedimiento	Duración	$VO_{2max}$ (ml/kg/min)	FC (lat/min)	Lactato (mmol/L)
[43]	19 ° de ruta*, rocódromo	180 – 300	24,9 ± 1,2	176 ± 14	5,8 ± 1,0
[43]	19 ° de ruta* desplomada, rocódromo	210 – 255	20,6 ± 0,9	159 ± 15	4,3 ± 0,8
[44]	21 ° de ruta*, hacia arriba en pared vertical (90°)	244,0 ± 5,8	44,1 ± 5,8	173,8 ± 8,8	5,9 ± 1,6
[44]	21 ° de ruta*, hacia arriba en pared desplomada (120-135°)	189,0 ± 25,0	41,6 ± 4,1	175,1 ± 13,9	6,2 ± 1,6
[44]	21 ° de ruta*, travesía en pared vertical (90°)	195,0 ± 47,0	195,0 ± 47,0	164,5 ± 10,5	4,8 ± 1,3
[46]	Muro de velocidad 15 m	8,1 ± 2,1			7,6 ± 1,9

\*19 y 21 grado según escala IRCRA [15]

### Lactato en sangre: efectos después de escalar

En la tabla 7 se presentan los valores de lactato en sangre después de realizar una ruta de escalada. El rango de valores de lactato en sangre varía desde 1,5 mmol/L en una ruta de 11 grado de escalada en la escala IRCRA, hasta 6,8 mmol/L en una ruta de 21 grado de escalada en la escala IRCRA.

Por otro lado, observamos que los escaladores de velocidad de élite chinos, según el estudio de [46] obtuvieron  $7,6 \pm 1,9$  mmol / L de lactato, a los 3 minutos después de completar el ascenso, mostrando los resultados una correlación positiva entre el lactato y el tiempo de escalada.

#### 3.3.1. Metabolismo anaeróbico aláctico

El sistema aeróbico y el sistema anaeróbico aláctico son los principales sistemas de energía utilizados en la escalada en interiores [6,10,11,47] siendo este último, el responsable de proporcionar ATP a los antebrazos y no el metabolismo glucolítico láctico.

### 3.3.2. Capacidad oxidativa muscular

Es la capacidad de reposición de la energía. En la revisión sistemática realizada por Saul et al. [10] encontramos que los músculos del antebrazo se pueden analizar desde un punto de vista más bioquímico: el consumo de oxígeno en sí mismo se pudo medir y mostró valores más altos para las rutas de escalada más difíciles, acompañado de un aumento en la frecuencia cardíaca y la ventilación por minuto en escaladores recreativos y de élite [10,24]. El ejercicio más prolongado provocó un aumento de los niveles de lactato en sangre, que fueron más bajos en escaladores experimentados en comparación con los escaladores novatos, lo que indica una recuperación más rápida.

Fryer et al. [28] examinaron las diferencias en la cinética de oxigenación y las características de fuerza y resistencia de los EB y los EL y grupo control, utilizando espectroscopia de infrarrojo cercano completaron evaluaciones del índice de capacidad oxidativa y el consumo de oxígeno muscular en el FDP y extensor digital común. Además, se evaluó la fuerza del antebrazo (máxima contracción isométrica), la resistencia (FTI integral fuerza-tiempo al 40% MVC) y el volumen del antebrazo (FAV y  $\Delta$ FAV). Resultando la MVC fue significativamente mayor en los EB en comparación con los EL (diferencia media = 9,6, IC del 95%: 5,2-14 kg). Los índices de capacidad oxidativa FDP y EDC fueron significativamente mayores ( $p = .041$  y  $.013$ , respectivamente) en EB y EL en comparación con los controles (diferencia media =  $-1,166$ , IC del 95% ( $-3,264$  a  $0,931$  s) y diferencia media =  $-1,120$ , IC del 95% ( $-3,316$  a  $1,075$  s)), respectivamente) sin diferencias entre las disciplinas de escalada. Los escaladores

tuvieron una FTI significativamente mayor en comparación con los controles, pero no entre disciplinas.

- **Flujo sanguíneo del antebrazo.**

La frecuencia cardíaca se incrementa a medida que aumenta la dificultad de la escalada, existiendo una variabilidad que depende de diversos factores como: inclinación, experiencia, nivel de escalada [3,43,44].

En el estudio de Vigoroux et al. [35] los escaladores presentaron capacidades significativamente mayores para los músculos flexores de los dedos.. Este resultado era obviamente esperado dados los estudios numerosos que demostraron funcionamientos más altos significativos de escaladores al agarrar asimientos de la yema del dedo [30] Sin embargo, este estudio aportó nueva información a cuantificar esta: en cuanto a las escaladoras, los resultados mostraron que sus actuaciones fueron más débiles que los escaladores masculinos así como los no escaladores. Los ratios de desequilibrio indican que esta debilidad se amplifica para los músculos flexores de los dedos, lo que sugiere que las escaladoras femeninas tienen un perfil de capacidad diferente al de los escaladores masculinos.

- **Capacidad de desoxigenación y reoxigenación muscular**

Según Fryer et al. [48] la resistencia de los flexores del antebrazo en escaladores de élite es independiente de la capacidad de regular el flujo sanguíneo de la arteria conductora (braquial), lo que sugiere que la resistencia no depende principalmente de la capacidad de la arteria braquial para suministrar oxígeno, sino más bien de la capacidad del músculo para perfundir y utilizar oxígeno, es decir, capacidad oxidativa del músculo esquelético. Este fue el primer estudio para evaluar capacidad oxidativa local de la musculatura usando un índice NIRS-

derivado en un grupo heterogéneo de escaladores de roca. Para ello utilizaron la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) y se evaluó el índice de capacidad oxidativa del FDP calculando el tiempo medio para la restauración de oxígeno tisular ( $O_2$  HTR) después de 3-5 min de isquemia.

### 3.3.3. Integral fuerza-tiempo (FTI)

La capacidad de desoxigenación durante las contracciones y la reoxigenación durante los episodios de recuperación influye en una mayor FTI, cantidad de fuerza que se puede mantener por un tiempo continuo o intermitente. La FTI se calcula con la siguiente ecuación:  $0,4 \times$  duración de la contracción (s)  $\times$  fuerza aplicada en (N) y se mide en N/s [49]. Por ejemplo, en una vía hay 30 movimientos, cada movimiento requiere aplicar 200 N, si todos los escaladores tardan 3 s en cada movimiento: un escalador principiante que realice 10 movimientos, su FTI será de 2400Ns. Un escalador de élite que realice los 30 movimientos de la vía tendría un FTI de 7200 NS. Por lo tanto, la FTI es una variable directamente proporcional con los niveles de los escaladores.

### 3.3.4. Eficiencia

En la escalada es muy importante la eficiencia en los movimientos, chapajes, etc., para poder cumplir el objetivo gastando las mínimas energías posibles.

- **Menor gasto energético:** en el estudio realizado por Balàs et. Col [50] cuyo objetivo fue examinar la relación entre la capacidad de escalada y las respuestas fisiológicas a la escalada submáxima y máxima, con la velocidad de escalada constante, concluyeron que existe una relación entre la inclinación de la pared y la demanda fisiológica de la escalada.

**Mejora en el uso de las vías metabólicas:** el ejercicio más prolongado provocó un aumento de los niveles de lactato en sangre, que fueron más bajos en escaladores experimentados en

comparación con los escaladores novatos, lo que indica una recuperación mejor / más rápida. [10,43].

### 3.3.5. Diferencias modalidades deportivas: boulder, dificultad y velocidad

#### **Fuerza**

En el estudio realizado por Levernier et al. [34] en el que se compararon las capacidades de producción de fuerza entre 11 escaladores de élite polacos de boulder, 8 de dificultad y 5 velocidad, durante una prueba de dos dominadas en diferentes porcentajes de su masa corporal (0%, 30%, 45%, 60% y 70%), con un descanso de 3 minutos, usando un perfil de fuerza-velocidad-potencia (con fiabilidad del método alta). Como resultados destacar que los escaladores de boulder pueden desarrollar mayor fuerza externa, y tienen una mayor capacidad de mantener una alta velocidad cuando aumenta la producción de fuerza. La masa corporal es mayor significativamente para los escaladores de velocidad en comparación con los escaladores de dificultad (+ 10,03%). Estos valores estaban cerca de otros estudios sobre escaladores de élite e internacionales [33].

#### **Patrones de actividad muscular en los antebrazos y lactato sanguíneo**

La actividad eléctrica del flexor superficial de los dedos (FDS) fue la más alta, seguida del bíceps braquial (BB) y el dorsal ancho. La frecuencia media instantánea de sEMG de FDS y BB disminuyó significativamente durante la escalada de velocidad de 15 m, disminuyendo más que en las piernas, lo que sugiere más fatiga, y en concreto en el brazo izquierdo (los escaladores eran diestros). Todos los participantes mostraron mayor RMS sEMG (%) en la fase terminal que, en la fase inicial, especialmente con un mayor aumento en los miembros

superiores izquierdos. Sin embargo, los músculos de las extremidades inferiores no presentaron cambios significativos en la amplitud del sEMG durante la escalada.

El rango de valores de lactato en sangre en los estudios de Billat et al. [43] y Bertuzi et al. [44] vistos en apartado anterior, varía desde 1,5 mmol/L en una ruta de 11 grado de escalada en la escala IRCRA, hasta 6,8 mmol/L en una ruta de 21 grado de escalada en la escala IRCRA, mientras que en el estudio de Guo et al. [46] los valores de lactato medidos 3 minutos después del ascenso, ascendían a  $7,6 \pm 1,9$  mmol / L.

## 4. DISCUSIÓN

Una de las características fundamentales de la escalada deportiva es que se realizan desplazamientos de forma vertical y/o en desplome, lo cual obliga a combatir los efectos de la gravedad e influye en los aspectos fisiológicos de los escaladores. La capacidad de escalada y las respuestas fisiológicas a la escalada submáxima y máxima, con la velocidad de escalada constante, concluyeron que existe una relación entre la inclinación de la pared y la demanda fisiológica de la escalada [50].

En relación a la composición y dimensiones corporales los escaladores de élite, en comparación con los escaladores recreativos, tienen: un bajo peso corporal, un porcentaje más bajo de grasa corporal, son más bajos y el índice de masa es mayor de 1. Estos factores pueden ser beneficiosos, pero no determinantes. El entrenamiento es el factor más determinante [23,25].

Una limitación encontrada es que los estudios de antropometría que se han publicado más recientemente están enfocados principalmente en los hombres [31] o escaladores jóvenes [2]. Pero, a pesar de la creciente participación femenina las mujeres están menos subrepresentadas en la investigación de la escalada y hay una clara falta de datos descriptivos sobre las escaladoras.

Tal y como se ha indicado en la sesión de resultados, la fuerza en escalada es verdaderamente importante, pudiendo esta ser un factor limitante en escalada. El dinamómetro es el medio más utilizado para medir la fuerza relacionada con la escalada, pero se debe tener en cuenta que los agarres que se utilizan normalmente en escalada no son similares a la presión en el dinamómetro. Desde el punto de vista de Espana-Romero [51], prácticamente ningún test de fuerza es exactamente específico al deporte realizado en condiciones reales, sin embargo, los test de fuerza fiables y válidos aportan información relevante sobre aspectos fisiológicos y

mecánicos del músculo que resultan de gran interés para investigadores, entrenadores y escaladores. Los resultados de los estudios pueden llegar incluso a ser contradictorios, porque no siempre los escaladores de más nivel, tienen mayores resultados. Pero si es más clarificadora la relación de fuerza relativa (fuerza/masa corporal). Cuando la fuerza se evaluó en relación con el peso corporal los escaladores de élite puntuaron significativamente más alto. Este aspecto determina que una reducción en la masa corporal y el porcentaje de grasa corporal puede ser ventajosa durante la escalada [3]. A mayor fuerza máxima de los cuatro dedos (sin el pulgar), particularmente en relación con la masa corporal del escalador, mejor rendimiento en la escalada. Los escaladores de élite están mejor adaptados que los no escaladores para realizar el esfuerzo intermitente de la yema de los dedos antes del punto de fallo, siendo esta capacidad de generar o mantener la producción de fuerza necesaria para mantener la presión sobre la presa, la razón principal para no caerse. Los EB tienen una MCV muy superior a los EL, por lo tanto, los EL tendrán que entrenar más la fuerza de dedos.

Tiene sentido que sea más importante la fuerza máxima relativa que la propia fuerza máxima, tanto dinámica como isométrica, por el argumento de tener que combatir la acción de la gravedad.

La cantidad de fuerza desarrollada por unidad de tiempo (RFD) es un parámetro funcional esencial para poder realizar actividades que requieren capacidad de fuerza rápida, y es un determinante de la escalada porque en los estudios analizados los escaladores de élite fueron más fuertes que los escaladores avanzados y no escaladores en la mayoría de las medidas de fuerza, sobre todo los EB [31,33,37]. Esto es debido a que la capacidad de escalar está más relacionada con la fuerza específica que con la general. Los entrenamientos para escaladores basados en sostenerse lo más rápido y fuerte posible es una buena forma de aumentar su tasa de desarrollo de la fuerza de los dedos y, en consecuencia, su eficiencia de escalada, especialmente en los movimientos dinámicos. Registrar la tasa de desarrollo de la fuerza a 200

milisegundos, es adecuado para monitorear a un escalador durante el entrenamiento, para evaluar el efecto de un procedimiento de entrenamiento específico en la forma en que se produce la fuerza o para comparar valores entre diferentes escaladores [52].

La justificación de la importancia de la fuerza explosiva se basa en que existen situaciones en la escalada en la que es preciso generar una gran tensión de fuerza en brevísimos espacios de tiempo y, además, con superficies mínimas (dedos). El hecho de no conseguirlo puede significar que el escalador se desestabilice y deba interrumpir la ascensión.

Las variaciones de los datos de lactato en los valores observados, podrían ser debidas a las variaciones en los métodos de valoración, a la dificultad de la ruta de escalada y al nivel de rendimiento de los participantes [51]. El aumento de lactato puede deberse a la contracción isométrica repetida de los músculos del antebrazo porque la disminución de la fuerza de agarre podría correlacionarse con un aumento de los niveles de lactato en sangre [10,43]. Estas contracciones de alta intensidad junto a los escasos periodos de recuperación, producen una oclusión progresiva del flujo sanguíneo en el músculo, una disminución del aporte sanguíneo, una reposición de los depósitos energéticos, así como la capacidad de limpiar los metabolitos de deshecho.

En los escaladores de alto nivel hay importante implicación de los sistemas energéticos anaeróbicos. Estos realizan contracciones intermitentes y de corta duración (de 3 a 12 segundos), con periodos de recuperación entre agarres, por lo que el metabolismo oxidativo, repondrá los depósitos de fosfocreatina para obtener la energía suficiente para seguir avanzando. En la escalada de velocidad la glucólisis proporciona una buena cantidad de energía, las ascensiones varían entre 6 y 9 segundos en los atletas de élite. Las subidas más rápidas en escaladores de velocidad de élite en el estudio de [46] se asociaron con valores de lactato más bajos. . Estos datos nos sugieren que el sistema ATP-PC suministra

energía para completar la escalada de velocidad, mientras que en la escalada de dificultad es más importante la implicación de los sistemas energéticos anaeróbicos glucolíticos, probablemente con mayor aportación de ácido láctico en momentos precisos.

La escalada rápida es una actividad de alta intensidad que se realiza en el menor tiempo posible. Una vez que los fosfatos de alta energía disminuyen considerablemente a través del sistema ATP-CP, el sistema glucolítico se utiliza para suministrar energía y genera altos niveles de lactato en sangre, lo que provoca contracciones musculares relativamente más lentas y tiempos de escalada reducidos. Se sugiere que los escaladores más lentos deberían mejorar sus capacidades del sistema de energía ATP-CP, porque el nivel de rendimiento de escalada puede aumentar la tolerancia al lactato y eliminar ácido láctico durante la escalada.

La capacidad oxidativa muscular no es un factor limitante en la escalada, tal como se determina en el estudio de Fryer et al. [17,48], donde los índices de capacidad oxidativa del FDP y EDC fueron significativamente mayores en EB y EL en comparación con los no escaladores sin diferencias entre las disciplinas de escalada. Los escaladores tuvieron una FTI significativamente mayor en comparación con los controles, pero no entre disciplinas. El mayor MVC en escaladores de boulder puede deberse a la adaptación neuronal y no a la hipertrofia. Un mayor índice de capacidad oxidativa de lo EB y EL, independientemente de la disciplina, indica que los entrenadores, y practicantes deben considerar el entrenamiento aeróbico específico del antebrazo para ayudar al rendimiento.

En cuanto a la capacidad de desoxigenación y reoxigenación muscular, mencionar que el índice de la capacidad oxidativa del flexor del antebrazo puede servir como indicador simple y valioso de la situación del entrenamiento en escaladores. A medida que aumenta la capacidad de escalar un mayor grado de dificultad, los escaladores pueden desoxigenar el flexor profundo de los

dedos como el flexor radial del carpo significativamente más rápido y en mayor medida, lo que sugiere que la capacidad oxidativa del músculo y la capacidad de perfundir  $O_2$  puede ser más importante que el flujo sanguíneo para controlar el rendimiento. El mayor nivel de desoxigenación en escaladores de élite puede deberse a una mayor capacidad oxidativa, influencia del metabo reflejo o aumento de la presión de perfusión [17]. Los escaladores de élite tienen una capacidad mucho más elevada de captar y utilizar el oxígeno que les aporta la sangre (reoxigenación) y a la vez, son más capaces de vaciar más de oxígeno su músculo (desoxigenación), que los escaladores de menor grado, en contracciones continuas e intermitentes, lo que permite utilizar más y reponer más los depósitos de PCr-fosfocreatina para obtener y producir más energía [29,30,48,49]

La capacidad de desoxigenación durante las contracciones y la reoxigenación durante los episodios de recuperación influye en una mayor FTI, cantidad de fuerza que se puede mantener por un tiempo continuo o intermitente. La FTI se calcula con la siguiente ecuación:  $0,4 \times$  duración de la contracción (s)  $\times$  fuerza aplicada en (N) y se mide en N/s [49]. Por ejemplo, en una vía hay 30 movimientos, cada movimiento requiere aplicar 200 N, si todos los escaladores tardan 3 s en cada movimiento: un escalador principiante que realice 10 movimientos, su FTI será de 2400Ns. Un escalador de élite que realice los 30 movimientos de la vía tendría un FTI de 7200 NS. Por lo tanto, la FTI es una variable directamente proporcional con los niveles de los escaladores.

En la escalada es muy importante la eficiencia en los movimientos, para poder cumplir el objetivo con un menor gasto energético. El aumento de la capacidad técnica y la capacidad de los escaladores de nivel superior [50] parece compensar en cierta medida el aumento de esta demanda a través de una economía de ejercicio, la que permite escalar un mayor tiempo hasta el agotamiento y a un mejor rendimiento.

Lógicamente la técnica del escalador es determinante, asumiendo que el éxito radica en que las posibles ganancias de fuerza sean integradas en el patrón técnico de ascensión de cada deportista. De lo contrario la fuerza, incluso, podría llegar a ser negativa, sobre todo si ha provocado efectos estructurales con un aumento del peso corporal.

Los EB pueden desarrollar mayor fuerza, y tienen una mayor capacidad de mantener una alta velocidad cuando aumenta la producción de fuerza. Sus cualidades de potencia y velocidad son determinantes en su disciplina y pueden permitir una mejor adaptación a las demás disciplinas de escalada; competencia combinada u Overall, en particular.

Al tener que entrenar las 3 disciplinas de escalada, se ha investigado cual podría ser el factor más determinante que pueda conllevar a una mejora en las tres disciplinas. Se ha constatado que los EB pueden desarrollar mayor fuerza externa, y tienen una mayor capacidad de mantener una alta velocidad cuando aumenta la producción de fuerza. Sus cualidades de potencia y velocidad son determinantes en su disciplina y pueden permitir una mejor adaptación y transferencia a las demás disciplinas de escalada: competencia combinada u Overall. Las tres modalidades de escalada dificultad, boulder y velocidad, tienen diferentes requisitos de fuerza, velocidad y resistencia. Se ha encontrado que los escaladores de élite que se especializan en dificultad y boulder son más propensos a obtener una puntuación más alta en escalada combinada, ya que los resultados en estas disciplinas están relacionados. Para los escaladores que se especializan en la disciplina de velocidad, lograr una puntuación alta, en las otras dos modalidades, es complicado porque los resultados en la disciplina de velocidad no están relacionados con los resultados en las disciplinas de dificultad y boulder [46]. Pero si se ha demostrado que la práctica de boulder y entrenamiento de esta modalidad influye sobre las otras dos modalidades de escalada.

Los escaladores de nivel inferior deben centrar el entrenamiento en protocolos específicos de

fatiga intermitente. Los escaladores de competición o de élite deben hacer uso de los descansos adecuados en la ruta para ayudar a la recuperación y aumentar las posibilidades de llegar a la siguiente presa.

Un mayor índice de capacidad oxidativa en los EB, EL sugiere que, independientemente de la disciplina de escalada, los entrenadores y practicantes deben considerar el entrenamiento aeróbico específico del antebrazo para ayudar al rendimiento.

A medida que aumenta la dificultad para escalar hay un aumento: en  $\dot{V}O_{2max}$  y de la frecuencia cardíaca, acumulación de ácido láctico y gasto energético. La tolerancia, el retiro creciente del lactato, y la capacidad de realizar contracciones isométricas repetidas del antebrazo sin que la fatiga se convierta en perjudicial al funcionamiento, pueden ser beneficiosas para escalar. En consecuencia, los escaladores de nivel inferior deben centrar el entrenamiento en protocolos específicos de fatiga intermitente. Los escaladores de competición o de élite deben hacer uso de los descansos adecuados en la ruta para ayudar a la recuperación y aumentar las posibilidades de llegar a la siguiente presa.

## 5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos de esta revisión sistemática, se llega a las siguientes conclusiones:

a) Los factores antropométricos no son determinantes en las diferentes modalidades de escalada. Hay factores antropométricos que pueden contribuir a unos mejores resultados en los escaladores de élite como son: la baja estatura, el bajo porcentaje de grasa corporal y una mayor envergadura de brazos y un mayor índice de mono. La masa corporal es mayor significativamente para los escaladores de velocidad en comparación con los escaladores de dificultad y bloque. Los escaladores de bloque tienen una menor estatura que los escaladores de dificultad y velocidad.

b) El factor más determinante en la escalada es el entrenamiento.

c) Los resultados que produce la adaptación al entrenamiento en los escaladores de élite en las modalidades de dificultad, boulder y velocidad y que determinan en gran medida, el nivel de estos, son los siguientes:

- Hay una correlación positiva entre la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo de los escaladores de EF y EB y la longitud o la intensidad de la escalada. En los EV hay una correlación positiva entre la frecuencia cardíaca y el lactato sanguíneo de los escaladores y el tiempo de ascensión.
- Un aumento en la fuerza de dedos y hombro. El efecto del entrenamiento ha producido un aumento en las capacidades de los músculos flexores de los dedos en casi un 40 % [35].
- Los escaladores de élite tienen una mayor fuerza relativa que los escaladores avanzados y no escaladores.

- El mayor MVC en EB puede deberse a la adaptación neuronal y no a la hipertrofia. Los escaladores de élite tienen un mayor índice de capacidad oxidativa que los escaladores avanzados y no escaladores.
- Un aumento de la resistencia de dedos y hombro. Las escaladoras femeninas tienen un perfil de capacidad diferente al de los escaladores masculinos. Esto puede indicar que la mejora de las capacidades musculares de los dedos es más difícil de desarrollar para las mujeres y/o que las mujeres no necesitan esta mejora para escalar [35] sobre todo la fuerza de los dedos.
- Unas arterias de mayor diámetro, lo cual garantiza un mayor aporte de flujo a los músculos del antebrazo.
- La formación de nuevos capilares y nuevos vasos sanguíneos que aportan más flujo sanguíneo a diferentes fibras musculares, la angiogénesis capilar [29,30]. Contribuye a favorecer la hiperemia entre las fases de contracción [10].
- Una reoxigenación más rápida de los músculos flexores de los dedos durante las breves fases de descanso [30].
- La capacidad de desoxigenación durante las contracciones y la reoxigenación durante los episodios de recuperación influye en una mayor FTI.
- La FTI de los escaladores avanzados y de élite es significativamente mayor en comparación con los grupos control de no escaladores, pero no entre disciplinas de la escalada.
- Los EB tienen una fuerza muscular máxima flexora de los dedos y la capacidad de fuerza rápida mayor que los EL y EV.
- El mayor MVC en EB puede deberse a la adaptación neuronal y no a la hipertrofia. Los escaladores de élite tienen un mayor índice de capacidad oxidativa que los escaladores avanzados y no escaladores.

- El pico de RFD durante una tarea de flexor isométrico de los dedos es 36,73% más alto en los EB que en los EL. Este es el parámetro de los analizados en esta revisión, con mayor diferencia entre EB y EL.

Los escaladores de élite que se especializan en dificultad y boulder son más propensos a obtener una puntuación más alta en escalada combinada, ya que los resultados en estas disciplinas están relacionados. Para los escaladores que se especializan en la disciplina de velocidad, lograr una puntuación alta, en las otras dos modalidades, es complicado porque los resultados en la disciplina de velocidad no están relacionados con los resultados en las disciplinas de dificultad y boulder [46]. Pero si se ha demostrado que la práctica de boulder y entrenamiento de esta modalidad influye sobre las otras dos modalidades de escalada.

## 6. LIMITACIONES

La primera limitación es el término deportista de élite en escalada. A partir de qué grado de dificultad se determina un escalador como deportista de élite, ya que los deportistas de élite de hoy en día realizan un grado mucho más elevado que hace 10 años o más. En esta investigación se han tenido en cuenta los deportistas de élite que competían a nivel nacional e internacional y escaladores y deportistas comparables.

Ascensiones a vías con la misma graduación y de diferente inclinación de la pared de escalada, podrían provocar diferentes respuestas fisiológicas, aspectos que pueden ser controvertido a la hora de analizar los datos de los diferentes estudios.

Esta revisión resume la literatura sobre los factores asociados con el rendimiento en escalada. Existe mucha variación en las poblaciones estudiadas, los métodos, variables,

categorías y modalidades de escalada, lo cual impide la comparabilidad entre los diferentes enfoques. Una pequeña cantidad de investigaciones disponibles es prospectiva, y ninguna de la consultada es aleatorizada, lo que no permite agrupar los resultados para el análisis estadístico.

### **Investigación futura**

Los próximos estudios deberían segregar claramente los determinantes fisiológicos entre las diferentes subcategorías de escalada, teniendo en cuenta estudios prospectivos, aleatorizados y relacionados con el entrenamiento deportivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Watts PB, Martin DT, Durtschi S. Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci.* 1993;11(2):113–7.
2. Watts PB, Joubert LM, Lish AK, Mast JD, Wilkins B. Anthropometry of young competitive sport rock climbers. *Br J Sports Med.* 2003;37(5):420–4.
3. Giles LV, Rhodes EC, Taunton JE. The physiology of rock climbing. *Sport Med.* 2006;36(6):529–45.
4. Cheung WW, Tong TK, Morrison AB, Leung RW, Kwok Y-L, Wu S. Anthropometrical and Physiological Profile of Chinese Elite Sport Climbers. *Med Sport.* 2011;15(1):23–9.
5. Téllez MJA, Carrasco F, Romero VE, Inostroza J, Bustamante A, Altamirano IS. A comparison of body composition assessment methods in climbers: Which is better? *PLoS One.* 2019;14(11):1–10.
6. Bertuzzi R, de Pires FO, Lima-Silva AE, Gagliardi JFL, De-Oliveira FR. Performance determining factors in indoor climbing: One of the contributions of professor maria augusta kiss to the development of sports sciences in Brazil. *Rev Bras Med do Esporte.* 2011;17(2):84–7.
7. JBI. critical-appraisal-tools - Critical Appraisal Tools | Instituto Joanna Briggs [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 15]. Available from: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
8. IFSC. ¿Qué es el IFSC? [Internet]. [www.ifsc-climbing.org](http://www.ifsc-climbing.org). 2021 [cited 2021 Jun 15]. Available from: <https://www.ifsc-climbing.org/index.php/about-us/what-is-the-ifsc>
9. IFSC. Paris 2024 [Internet]. [www.ifsc-climbing.org](http://www.ifsc-climbing.org). 2020 [cited 2021 May 30]. Available from: <https://www.ifsc-climbing.org/index.php/olympic-games/paris-2024>
10. Saul D, Steinmetz G, Lehmann W, Schilling AF. Determinants for success in climbing: A systematic review. *J Exerc Sci Fit.* 2019;17(3):91–100.
11. Romero VE, Ruiz JR, Ortega FB, Artero EG, Vicente-Rodríguez G, Moreno LA, et al. Body fat measurement in elite sport climbers: Comparison of skinfold thickness equations with dual energy X-ray absorptiometry. *J Sports Sci.* 2009;27(5):469–77.
12. Draper N, Canalejo JC, Fryer S, Dickson T, Winter D, Ellis G, et al. Reporting climbing grades and grouping categories for rock climbing. *Isokinet Exerc Sci.* 2011;19(4):273–80.
13. Baláš J, Panáiková M, Strejcová B, Martin AJ, Cochrane DJ, Kaláb M, et al. The Relationship between Climbing Ability and Physiological Responses to Rock Climbing. 2014 [cited 2021 Jun 10]; Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/678387>
14. Sheel AW. Physiology of sport rock climbing. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):355–9.
15. Draper N, Giles D, Schöffl V, Konstantin Fuss F, Watts P, Wolf P, et al. Comparative grading scales, statistical analyses, climber descriptors and ability grouping: International Rock Climbing Research Association position statement. *Sport Technol.* 2015;8(3–4):88–94.
16. Grant S, Shields C, Fitzpatrick V, Loh WM, Whitaker A, Watt I, et al. Climbing-specific finger endurance: A comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *J Sports Sci.* 2003;21(8):621–30.
17. Fryer S, Stoner L, Scarrott C, Lucero A, Witter T, Love R, et al. Forearm oxygenation and blood flow kinetics during a sustained contraction in multiple ability groups of rock climbers. *J Sports Sci.* 2015;33(5):518–26.
18. Higgins J. P. T., Thomas J., Chandler J., Cumpston M., Li T., Page M.J., & Welch VA.

- Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 5.2. Rhr Cochrane Collaboration [Internet]. 2017. Available from: [www.training.cochrane.org/handbook](http://www.training.cochrane.org/handbook)
19. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Altman D, Antes G, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6(7).
  20. Alicante MH, Balaguer A. Evidencias en Pediatría [Internet]. Vol. 3, Evid Pediatr. 2007 [cited 2021 Jun 15]. Available from: [http://www.aepap.org/EvidPediatr/numeros/vol3/2007\\_numero\\_4/2007\\_vol3\\_numero4\\_23.htm](http://www.aepap.org/EvidPediatr/numeros/vol3/2007_numero_4/2007_vol3_numero4_23.htm)
  21. Ma LL, Wang YY, Yang ZH, Huang D, Weng H, Zeng XT. Methodological quality (risk of bias) assessment tools for primary and secondary medical studies: What are they and which is better? *Mil Med Res.* 2020;7(1):1–11.
  22. Downes MJ, Brennan ML, Williams HC, Dean RS. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). 2016 [cited 2021 Jun 15]; Available from: <http://bmjopen.bmj.com/>
  23. Giles D, Barnes K, Taylor N, Chidley C, Chidley J, Mitchell J, et al. Anthropometry and performance characteristics of recreational advanced to elite female rock climbers. *J Sports Sci.* 2021;39(1):48–56.
  24. Macdonald JH, Callender N. Athletic profile of highly accomplished boulderers. *Wilderness Environ Med [Internet].* 2011;22(2):140–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wem.2010.11.012>
  25. Mermier CM, Janot JM, Parker DL, Swan JG. Physiological and anthropometric determinants of sport climbing performance. *Br J Sports Med.* 2000;34(5):359–65.
  26. Magiera A, Rocznik R, Maszczyk A, Czuba M, Kantyka J, Kurek P. The structure of performance of a sport rock climber. *J Hum Kinet.* 2013;36(1):107–17.
  27. Ozimek M, Rokowski R, Draga P, Ljakh V, Ambroży T, Krawczyk M, et al. The role of physique, strength and endurance in the achievements of elite climbers. *PLoS One.* 2017;12(8):1–11.
  28. Fryer S, Stone KJ, Sveen J, Dickson T, España-Romero V, Giles D, et al. Differences in forearm strength, endurance, and hemodynamic kinetics between male boulderers and lead rock climbers. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(9):1177–83.
  29. Fryer SM, Stoner L, Dickson TG, Draper SB, McCluskey MJ, Hughes JD, et al. Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. *J Strength Cond Res.* 2015;29(6):1633–9.
  30. Philippe M, Wegst D, Müller T, Raschner C, Burtscher M. Climbing-specific finger flexor performance and forearm muscle oxygenation in elite male and female sport climbers. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(8):2839–47.
  31. Laffaye G, Levernier G, Collin J-M. Determinant factors in climbing ability: Influence of strength, anthropometry, and neuromuscular fatigue. *Scand J Med Sci Sport.* 2016;26(10):1151–9.
  32. Levernier G, Laffaye G. Four Weeks of Finger Grip Training Increases the Rate of Force Development and the Maximal Force in Elite and Top World-Ranking Climbers. *J strength Cond Res.* 2019;33(9):2471–80.
  33. Levernier G, Laffaye G. Rate of force development and maximal force: reliability and difference between non-climbers, skilled and international climbers. *Sport Biomech.* 2019;
  34. Levernier G, Samozino P, Laffaye G. Force-velocity-power profile in high-elite boulder, lead, and speed climber competitors. *Int J Sports Physiol Perform.* 2020;15(7):1012–8.

35. Vigouroux L, Goislard de Monsabert B, Berton E. Estimation of hand and wrist muscle capacities in rock climbers. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(5):947–57.
36. Vigouroux L, Quaine F. Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *J Sports Sci*. 2006;24(2):181–6.
37. Fanchini M, Violette F, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Differences in climbing-specific strength between boulder and lead rock climbers. *J Strength Cond Res*. 2013;27(2):310–4.
38. Mermier CM, Robergs RA, Mcminn SM, Heyward VH, Mermier CM, Robergs RA, et al. Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *Br J Sport Med [Internet]*. 1997;31:224–8. Available from: <http://bjsm.bmj.com/>
39. Ozimek M, Krawczyk M, Zadarko E, Barabasz Z, Ambrozy T, Stanula A, et al. Somatic Profile of the Elite Boulderers in Poland. *J Strength Cond Res*. 2017;31(4):963–70.
40. Mermier CM, Robergs RA, Mcminn SM, Heyward VH. During Indoor Rock Climbing. *Br J Sports Med*. 1997;31:224–8.
41. Schöffl VR, Möckel F, Köstermeyer C, Roloff I, Küpper T. Development of a performance diagnosis of the anaerobic strength endurance of the forearm flexor muscles in sport climbing. *Int J Sports Med*. 2006;27(3):205–11.
42. Levernier G, Laffaye G. Four Weeks of Finger Grip Training Increases the Rate of Force Development and the Maximal Force in Elite and Top World-Ranking Climbers. *J strength Cond Res*. 2019;33(9):2471–80.
43. Billat V, Palleja P, Charlaix T, Rizzardo P, Janel N. Energy specificity of rock climbing and aerobic capacity in competitive sport rock climbers. *J Sports Med Phys Fitness*. 1995;35(1):20–4.
44. Bertuzzi RC de M, Franchini E, Kokubun E, Kiss MAPDM. Energy system contributions in indoor rock climbing. *Eur J Appl Physiol [Internet]*. 2007 Oct 30 [cited 2021 Jun 17];101(3):293–300. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-007-0501-0>
45. España-Romero V, Ortega Porcel FB, Artero EG, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez Sainz Á, Castillo Garzón MJ, et al. Climbing time to exhaustion is a determinant of climbing performance in high-level sport climbers. *Eur J Appl Physiol*. 2009;107(5):517–25.
46. Guo F, Wang Q, Liu Y, Hanson NJ. Changes in blood lactate and muscle activation in elite rock climbers during a 15-m speed climb. *Eur J Appl Physiol [Internet]*. 2019;119(3):791–800. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-018-04070-w>
47. Pires FO, Lima-Silva AE, Hammond J, Franchini E, Dal’Molin Kiss MAP, Bertuzzi R. Aerobic profile of climbers during maximal arm test. *Int J Sports Med*. 2011;32(2):122–5.
48. Fryer S, Stoner L, Stone K, Giles D, Sveen J, Garrido I, et al. Forearm muscle oxidative capacity index predicts sport rock-climbing performance. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(8):1479–84.
49. Fryer S, Stoner L, Lucero A, Witter T, Scarrott C, Dickson T, et al. Haemodynamic kinetics and intermittent finger flexor performance in rock climbers. *Int J Sports Med*. 2014;36(2):137–42.
50. Baláš J, Panáčková M, Kodejška J, Cochrane DJ, Martin AJ. The role of arm position during finger flexor strength measurement in sport climbers. *Int J Perform Anal Sport*. 2014;14(2):345–54.
51. España-Romero V, Artero EG, Ortega FB, Jiménez-Pavón D, Gutiérrez A, Castillo MJ, et al. Physiology of sport climbing | Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva. *Rev Int Med y Ciencias la Act Fis y del Deport*. 2009;9(35):264–98.

52. Levernier G, Laffaye G. Rate of force development and maximal force: reliability and difference between non-climbers, skilled and international climbers. *Sport Biomech* [Internet]. 2021;20(4):495–506. Available from: <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1584236>

ANEXO 1: Muros de las modalidades de dificultad, boulder y velocidad.



Maestu, J. (2019). Vías de dificultad, Supercampeonato de España, Rodódromo Rocópolis Pamplona.



Maestu, J. (2019). Muro de boulder, Supercampeonato de España, Rocódromo Rocópolis, Pamplona.



*Maestu, J. (2021). Muro de velocidad, Concentración nacional española de escalada de velocidad, marzo 2021, Rocódromp Rocópolis, Pamplona.*

## ANEXO 2: JBI Critical Appraisal Checklist para estudios cuasiexperimentales

Revisor \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Autor \_\_\_\_\_ r \_\_\_\_\_

	Sí	No	confuso	No aplicable
1. ¿Está claro en el estudio cuál es la "causa" y cuál es el "efecto" (es decir, no hay confusión sobre qué variable es lo primero)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Se incluyeron los participantes en alguna comparación similar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Se incluyó a los participantes en cualquier comparación que recibiera tratamiento/atención similar, aparte de la exposición o intervención de interés?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Había un grupo de control?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Hubo mediciones múltiples del resultado tanto antes como después de la intervención/exposición?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ¿Se completó el seguimiento y, en caso contrario, se describieron y analizaron adecuadamente las diferencias entre los grupos en cuanto a su seguimiento?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ¿Se incluyeron los resultados de los participantes en las comparaciones medidas de la misma manera?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. ¿Se midieron los resultados de manera confiable?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. ¿Se utilizó un análisis estadístico adecuado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Evaluación general: Incluir  Excluir  Buscar más información

Comentarios (Incluido el motivo de la exclusión)

---



---



---



---

### ANEXO 3: JBI Critical Appraisal Checklist for analytical cross sectional studies

Revisor \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Autor \_\_\_\_\_ r \_\_\_\_\_.

	Sí	No	confuso	No aplicable
1. ¿Estaban claramente definidos los criterios de inclusión en la muestra?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ¿Se describieron en detalle los sujetos del estudio y el entorno?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ¿Se midió la exposición de una manera válida y confiable?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ¿Se utilizaron criterios objetivos y estándar para la medición de la afección?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ¿Se identificaron factores de confusión?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ¿Se establecieron estrategias para hacer frente a los factores de confusión?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ¿Se midieron los resultados de manera válida y confiable?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. ¿Se utilizó un análisis estadístico adecuado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Evaluación general: Incluir  Excluir  Buscar más información

Comentarios (Incluido el motivo de la exclusión)

---

---

---

ANEXO 4: Escala AXIS, para valoración de estudios transversales descriptivos [22].

	Pregunta	Sí	No	No sé/ comentario
Introducción				
1	¿Estaban claras las metas y objetivos del estudio?			
métodos				
2	¿Fue el diseño del estudio apropiado para los objetivos declarados?			
3	¿Estaba justificado el tamaño de la muestra?			
4	¿Estaba claramente definida la población objetivo/de referencia? (¿Está claro quién es el la investigación era sobre?)			
5	¿Se tomó el marco de muestra de una base de población adecuada para que representó estrechamente a la población objetivo/de referencia bajo investigación?			
6	¿Era probable que el proceso de selección seleccionara los sujetos/participantes que eran representante de la población objetivo/de referencia objeto de investigación?			
7	¿Se adoptaron medidas para abordar y clasificar a los no respondedores?			
8	¿Se midieron el factor de riesgo y las variables de resultado adecuadas a los objetivos? del estudio?			
9	Se midieron correctamente el factor de riesgo y las variables de resultado utilizando instrumentos/mediciones que habían sido probados, probados o publicados ¿previamente?			
10	¿Está claro lo que se utilizó para determinar la significación estadística y /o estimaciones de precisión? (por ejemplo, valores p, intervalos de confianza)			
11	¿Se describieron suficientemente los métodos (incluidos los métodos estadísticos) para permitir que se repitan?			
Resultados				
12	¿Se describieron adecuadamente los datos básicos?			
13	¿La tasa de respuesta plantea preocupaciones sobre el sesgo de no respuesta?			
14	Si es apropiado, ¿se describió información sobre los no respondedores?			
15	¿Fueron los resultados internamente consistentes?			
16	¿Se presentaron los resultados de todos los análisis descritos en los métodos?			
discusión				
17	¿Los resultados justificaron las discusiones y conclusiones de los autores?			
18	¿Se discutieron las limitaciones del estudio?			
Otro				
19	¿Hubo alguna fuente de financiación o conflicto de intereses que pudiera afectar a la ¿interpretación de los autores de los resultados?			
20	¿Se logró la aprobación ética o el consentimiento de los participantes?			