

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ESCUELA CIENCIAS DEL MOVIMIENTO HUMANO Y CALIDAD DE VIDA**

**Una revisión sistemática de métodos y eficacia del  
entrenamiento contra resistencia en hipoxia normobárica para  
el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular: actualización de 5  
años**

Artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Rendimiento Deportivo.

**Josué Vásquez Arias**

Campus Presbítero Benjamín Núñez, Heredia, Costa Rica

2021

Una revisión sistemática de métodos y eficacia del entrenamiento contra resistencia en hipoxia normobárica para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular: actualización de 5 años

Josué Vásquez Arias

Artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos de la Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica

Miembros del Tribunal Examinador

PhD. Felipe Araya Ramírez  
Decano de facultad de Ciencias de la Salud

MSc. Juan Carlos Gutiérrez Vargas  
Sub Director Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida

PhD. Daniel Rojas Valverde  
Tutor

MSc. Christian Azofeifa Mora  
Asesor

PhD. Braulio Sánchez Ureña  
Asesor

Josué Vásquez Arias  
Sustentante

Artículo científico sometido a la consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a mi familia, que siempre estuvo presente en mi proceso de aprendizaje, también está dedicado a todas esas personas que creyeron en mí y me dieron su apoyo.

## **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios, que siempre me dio las fuerzas necesarias para seguir adelante a pesar de las pruebas, por guiarme y permitirme culminar con éxito la licenciatura.

A mi familia, quienes son el principal apoyo y motivación para salir adelante, por siempre estar presentes, dándome las palabras necesarias para que no me rindiera y siempre creer en mí.

A los profesores Phd. Daniel Rojas Valverde, PhD. Braulio Sánchez Ureña y MSc. Christian Azofeifa Mora, quienes fueron un elemento importante en el desarrollo de esta investigación, agradezco el compromiso y confianza que tuvieron con mi persona durante el proceso.

A la Universidad Nacional, que en todo el sentido de la palabra fue mi casa durante tantos años y me dio la oportunidad de estudiar una carrera universitaria con gran prestigio. En general, a mis compañeros, administrativos, profesores y cada una de esas personas que me brindaron la mano para poder formarme y ser el profesional que soy hoy.

Josué Vásquez Arias

## Tabla de contenido

Resumen/Abstract.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
METODOLOGÍA.....	3
Criterios de selección.....	3
Fuentes de datos y perfil de búsqueda .....	4
Selección de estudios y extracción de datos .....	4
Figura 1. ....	5
Figura 2. ....	6
Figura 3. ....	7
RESULTADOS .....	7
Selección de estudios .....	7
Tabla 1 .....	9
Efectividad sobre la hipertrofia y fuerza muscular .....	12
Figura 4.....	12
Figura 5 .....	13
DISCUSIÓN.....	15
Cambios en el tamaño del musculo por condiciones de hipoxia .....	16
Cambios en la fuerza muscular por condiciones de hipoxia.....	17
LIMITACIONES.....	18
APLICACIONES PRÁCTICAS .....	18
CONCLUSIÓN .....	19
REFERENCIAS .....	20

# **Una revisión sistemática de métodos y eficacia del entrenamiento contra resistencia en hipoxia normobárica para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular: actualización de 5 años**

*A systematic review of methods and efficacy of resistance training in normobaric hypoxia for strength development and muscle hypertrophy: a 5-year update*

**Josué Vásquez Arias, B.Ed.**

*Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida  
Universidad Nacional, Costa Rica*

**Resumen:** Introducción. Entrenar las capacidades musculares en condiciones de hipoxia, permite un aumento de algunas de sus manifestaciones como la hipertrofia y la fuerza muscular, debido a un cambio en el fenotipo muscular por la activación de los factores inducibles por hipoxia (HIF). A pesar de los demostrados beneficios del entrenamiento contra resistencia en condiciones de hipoxia que permiten realizar conjeturas en relación a la eficacia y eficiencia para facilitar las capacidades musculares en diferentes poblaciones, existe aún controversia en la diferencia entre el entrenamiento de contra resistencia en hipoxia vs. Normoxia. El objetivo de esta revisión fue compilar la evidencia presente y actualizar los métodos, eficiencia y eficacia del entrenamiento contra resistencia en hipoxia simulada para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular. Metodología. Se realizó una búsqueda sistemática de revisión integradora basada en las Preferred Reporting Guidelines for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA), en 4 etapas identificación, selección de datos, recolección y extracción de datos y evolución de la calidad. Resultados. Cuatro estudios (92 sujetos) que reportan beneficios en la fuerza bajo entrenamiento en hipoxia, tres (101 sujetos) beneficios en hipertrofia y doce (327 sujetos) beneficios en fuerza e hipertrofia. Conclusión. Basados en los hallazgos de esta revisión sistemática, se concluye que, hay efectos positivos en el tamaño y la capacidad de generar fuerza en el músculo posterior a un programa de entrenamiento en hipoxia. Sin embargo, algunos estudios no mostraron un beneficio estadísticamente mayor en comparación a los grupos de normoxia, pero sí se han identificado algunas metodologías que promueven los beneficios de la hipoxia.

**Palabras clave:** Altitud, resistencia, rendimiento, esfuerzo, desarrollo muscular.

**Abstract:** Introduction. Training muscle capacities in hypoxic conditions allows an increase in some of its manifestations, such as hypertrophy and muscle strength, due to a change in the muscle phenotype due to the activation of hypoxia-inducible factors (HIF). Despite the proven benefits of resistance training in hypoxic conditions that allow conjecture regarding the efficacy and efficiency in facilitating muscular capacities in different populations, there is still controversy regarding the difference between resistance training in hypoxia vs. Normoxia. The objective of this review was to compile the present evidence and update the methods, efficiency and efficacy of resistance training in simulated hypoxia for the development of strength and muscle hypertrophy. Methodology. A systematic search for an integrative review will be carried out based on the Preferred Reporting Guidelines for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA), in 4 stages: identification, data selection, data collection and extraction, and quality evolution. Results. Four studies (92 subjects) reported benefits in strength under training in hypoxia, three (101 subjects) benefits in hypertrophy, and twelve (327 subjects) benefits in strength and hypertrophy. Conclusion. Based on the findings of this systematic review, it is concluded that there are positive effects on size and the ability to generate force in the muscle after a hypoxic training program. However, some studies did not show a statistically greater benefit compared to the normoxia groups, but some methodologies have been identified that promote the benefits of hypoxia.

**Keywords:** Altitude, endurance, performance, effort, muscle development.

## INTRODUCCIÓN

En las ciencias del deporte y la medicina es crucial explorar nuevos métodos que permitan la mejora del rendimiento deportivo y procuren la optimización de la salud. Es por ello que cada día toma más importancia en la vida de la sociedad actual el estudio de diferentes métodos de entrenamiento físico (Capote Lavandero et al., 2017). En este sentido, el entrenamiento de la fuerza muscular toma principal relevancia gracias a que permite la adaptación neuromuscular necesaria para mantener un óptimo estado físico. En consecuencia, la investigación en torno al entrenamiento de fuerza muscular y sus adaptaciones ha permitido explorar diferentes métodos que manipulan la intensidad, volumen, el tipo de ejercicios, el orden de ejecución y la velocidad del mismo (Ramos-Campo et al., 2018).

A pesar de que el músculo es adaptable a los diferentes métodos de entrenamiento, este se adapta en mayor o menor medida al tipo de estímulo. Entre los numerosos métodos de entrenamiento, el ejercicio bajo condiciones de hipoxia ha surgido en los últimos años como una opción para entrenar el componente de fuerza en las ciencias del ejercicio y la salud. El entrenamiento en altitud facilita adaptaciones fisiológicas y bioquímicas en el músculo (López Nieto et al., 2020), pero debido a la falta de evidencia contundente sigue en constante investigación para determinar cuáles métodos son más adecuados para lograr las adaptaciones necesarias de una forma eficiente y eficaz (Parodi et al., 2020).

Investigaciones sobre la hipoxia en deportes, han logrado mejorar algunas variables correspondientes al músculo esquelético, como lo son un 15% de la contracción voluntaria máxima de 3 s y 18% del área bajo la curva de fuerza de 30 s; el tamaño del músculo en un 6% del área transversal; y resistencia muscular un 23% el número de repeticiones al 20% 1RM (Kon et al., 2014). El entrenamiento de hipoxia ofrece condiciones especiales para el entrenamiento de fuerza a través de la hipertrofia muscular debido a un cambio en el fenotipo muscular por la activación de los factores inducibles por hipoxia (hipoxiainducible factor, HIF), que a su vez afecta a la expresión de genes encargados de la parte funcional del tejido muscular esquelético, así como la expresión de los genes encargados de la eritropoyesis y la angiogénesis (Fernández-Lázaro et al., 2019).

Los beneficios y adaptaciones musculares al entrenamiento de fuerza en hipoxia varían desde cambios en el volumen sanguíneo, producto de que en altitud se pierde volumen plasmático y esto a su vez provoca hemoconcentración; así como mejoras en el transporte de oxígeno, que somete al músculo a un estrés metabólico que facilita la adaptación, aumenta el reclutamiento de unidades motoras por lo que una porción más grande del músculo es estimulado (Cáceres, 2017). Se ha comprobado que el entrenar la fuerza muscular bajo condiciones de hipoxia aumentan el estrés metabólico intramuscular, mejora la señalización hipertrófica y la hipertrofia muscular, así como el aumento de la concentración de hormonas anabólicas.

Se ha visto también resultados en el entrenamiento hipóxico de contra resistencia de baja intensidad, en ese caso se ha logrado observar un aumento del reclutamiento de la unidad



motora y la resistencia muscular (Ramos-Campo, Rubio-Arias, Dufour, et al., 2017; Ramos-Campo, Rubio-Arias, Freitas, et al., 2017). Por su parte, Scott et al., (2017) mencionan que una de las razones por la cual la hipoxia puede aumentar la hipertrofia muscular más que en condiciones de normoxia, es por una mayor cantidad de estrés metabólico durante el entrenamiento. Por lo que la respuesta se puede asociar al entorno intramuscular más hipóxico que resulta del entrenamiento, por esa razón hay mayor dependencia de los procesos anaeróbicos y, por lo tanto, una mayor acumulación de subproductos metabólicos, como por ejemplo el lactato sanguíneo (BLa) que estimulan el crecimiento muscular.

A pesar de los demostrados beneficios del entrenamiento contra resistencia en condiciones de hipoxia que permiten realizar conjeturas en relación a la eficacia y eficiencia para facilitar las capacidades musculares en diferentes poblaciones, existe aún controversia en la diferencia entre el entrenamiento de contra resistencia en hipoxia vs. Normoxia. Es por ello que se ha aumentado el interés por sistematizar la evidencia disponible hasta el momento relacionada a estudios clínicos cuyo objetivo es observar las bondades del entrenamiento de fuerza en hipoxia para el aumento del tamaño y fuerza muscular (Ramos-Campo et al., 2018). Debido al creciente interés por el estudio de esta temática, la nueva evidencia recientemente publicada (2018), y con el fin de redireccionar próximos esfuerzos científicos en este sentido, el objetivo de esta revisión sistemática fue compilar la evidencia y actualizar los métodos y eficacia del entrenamiento contra resistencia en hipoxia simulada para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular.

## **METODOLOGÍA**

La presente revisión sistemática de literatura, se elaboró siguiendo los lineamientos PRISMA (Moher et al., 2009). Los criterios de elegibilidad fueron seleccionados por los autores y recopila aquellos estudios experimentales y cuasi experimentales que exploren la eficacia del entrenamiento de fuerza muscular en hipoxia en condiciones simuladas para la mejora de fuerza e hipertrofia muscular. La decisión de realizar una sistematización de evidencia relacionada con el objetivo del presente estudio, se basa en lineamientos claros para la réplica y actualización de revisiones sistemáticas (Garner et al., 2016; Tugwell et al., 2020).

### **Criterios de selección**

Para la presente revisión sistemática se establecieron los siguientes criterios de inclusión: (1) que el estudio determinara el efecto del entrenamiento bajo condiciones de hipoxia simulada por al menos 4 semanas en metodologías de entrenamiento para el logro de fuerza e hipertrofia muscular; (2) los estudios debían ser de diseño experimental o cuasi experimental; (3) el estudio cuenta con información sobre evaluaciones pre y post al tratamiento (e.g., pruebas de repetición máxima, medición de área transversal del músculo o masa magra); (4) solo se tomaron en cuenta estudios en idioma inglés, esto para efectuar una actualización de una revisión previa (Ramos-Campo et al., 2018) y conservar la línea de estudio; solo se incluyen estudios del año 2000 en adelante.

Por otro lado, se excluyeron los estudios que: (1) no se encuentren disponible el texto completo; (2) no se especificó el protocolo de medición y aspectos metodológicos claves en condiciones de hipoxia (e.g., altitud simulada, intensidad, volumen, características de

participantes); (3) se utilizó métodos de oclusión vascular; (4) estudios realizados en menores de edad o personas con alguna patología; (5) entrenamiento de hipoxia en condiciones naturales (e.g., entrenamiento de altura); (7) estudios que consideraran otros métodos de entrenamiento diferentes a la hipoxia, (8) estudios que exploren efectos agudos del entrenamiento de fuerza.

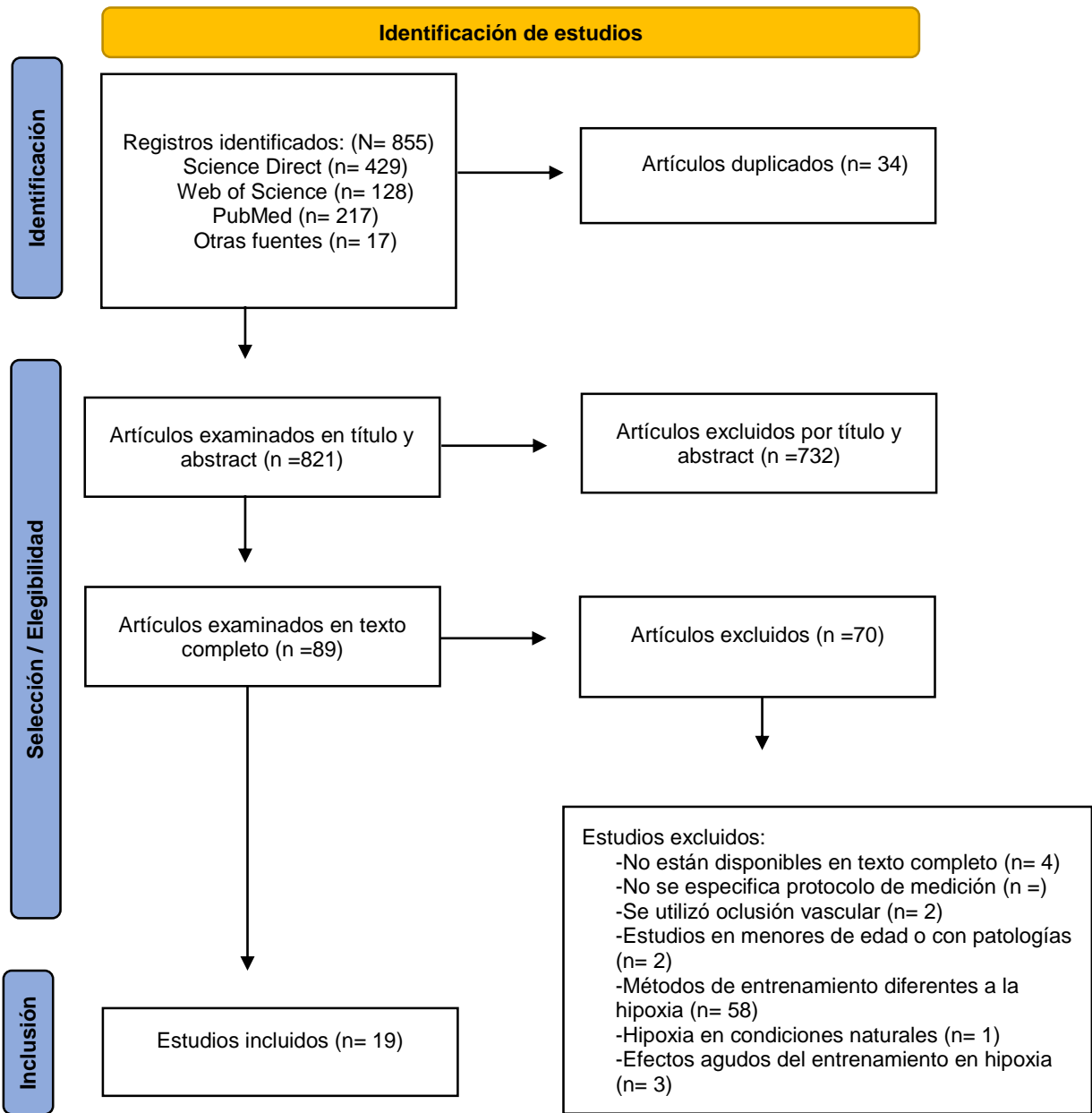
### **Fuentes de datos y perfil de búsqueda**

Se eligieron las bases de datos electrónicas PubMed, Science Direct y Web of Science para realizar una búsqueda de literatura acorde al tema de investigación. Esta búsqueda se realizó desde el año 2000 hasta el 15 de abril del 2021. Para la búsqueda de resultados, se realizó una combinación de palabras clave como: “Hipoxia AND resistance” “Hipoxia AND strength” “Altitude AND resistance” y “Altitude AND strength”. Como se puede observar, se utilizó el operador booleano AND para combinar las palabras clave. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de búsqueda.

### **Selección de estudios y extracción de datos**

La búsqueda se realizó por el autor principal. Se elaboró una base de datos en un programa informático (Excel, Microsoft, CA, USA) en la que se incluía cada artículo encontrado en cada una de las bases de datos (PubMed, ScienceDirect y Web of Science). En esta base de datos se incluía el nombre de la base de datos, el título del artículo, los autores, el nombre de la revista en la que fue publicado y el año de publicación. Posteriormente, se eliminaron los artículos duplicados y se procedió a la lectura del título y resumen de los artículos restantes. Para juzgar la relevancia del artículo, se dará lectura al texto completo para verificar el cumplimiento de los criterios de elegibilidad planteados.

Desde un punto de vista metodológico, los estudios fueron analizados utilizando la Escala PEDro con ítems descritos como bajo riesgo de sesgo, un riesgo de sesgo poco claro o alto riesgo de sesgo. El riesgo de sesgo fue evaluado de forma independiente por dos autores.

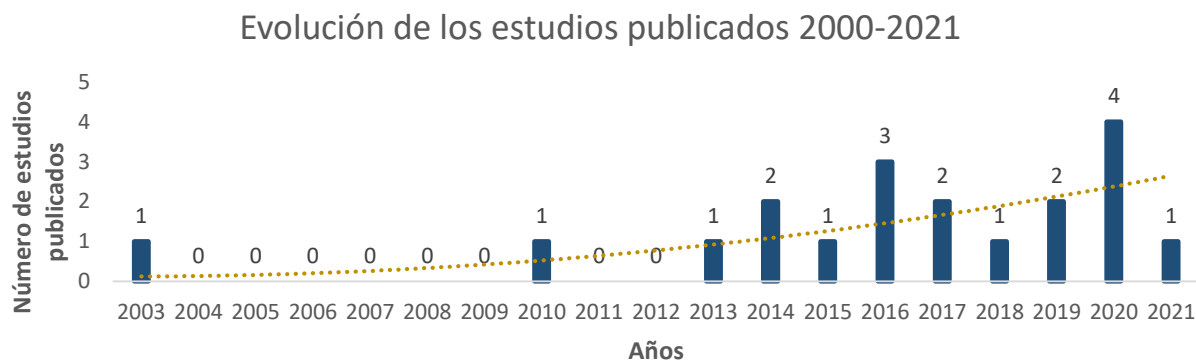


**Figura 1.**  
*Esquema de flujo de la identificación, selección y discriminación de artículos.*

Ítem de Escala PEDro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
(Friedmann et al., 2003)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Nishimura et al., 2010)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Manimmanakorn et al., 2013)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Ho et al., 2014)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Kon et al., 2014)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Kurobe et al., 2015)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Chycki et al., 2016)	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	7
(Inness et al., 2016)	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓	✓	5
(Yan et al., 2016)	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	7
(De Smet et al., 2017)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Thuwakum et al., 2017)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Camacho-Cardenosa et al., 2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11
(Martínez-Guardado et al., 2019)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
(Ramos-Campo et al., 2019)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	8
(Allsopp et al., 2020)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Martínez Guardado et al., 2020)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Namboonlue et al., 2020)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	9
(Törpel et al., 2020)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	8
(Fashi & Ahmadizad, 2021)	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8

**Figura 2.**

*Calificación metodológica de los estudios utilizados en la revisión sistemática. Considerándose excelente una calificación de 9-11, buena una de 6-8, aceptable una de 4-5 y una  $\leq 3$  como falta de calidad metodológica.*



**Figura 3.**

*Crecimiento de la publicación de artículos sobre hipoxia en variables de fuerza e hipertrofia en los últimos años.*

## RESULTADOS

### Selección de estudios

Como se muestra en la figura 1., posterior a la evaluación de 855 estudios identificados, se excluyeron 766 por título o abstract ( $n=732$ ) y duplicidad ( $n=34$ ) durante la búsqueda. Los 89 estudios restantes, fueron examinados en texto completo, de los cuales 19 artículos cumplieron con los criterios de inclusión.

De los estudios incluidos en la revisión sistemática, tal como se muestra en la tabla 1., 4 estudios (21.05%) examinaron el efecto del entrenamiento en hipoxia en la fuerza, 3 (15.78%) sobre la hipertrofia y 12 (63.15%) analizaron el efecto del entrenamiento sobre ambos parámetros.

Además, se estudiaron un total de 527 participantes, con rangos de entre 12 y 59 participantes por estudio. Del total de participantes, 92 (17.45%) estuvieron involucrados en estudios que investigan la efectividad del entrenamiento contra resistencia en condiciones de hipoxia sobre la fuerza muscular (Fashi & Ahmadizad, 2021; Inness et al., 2016; Thuwakum et al., 2017; Yan et al., 2016), 101 (19.16%) de ellos estuvieron involucrados en protocolos identificando el efecto sobre la hipertrofia muscular (Camacho-Cardenosa et al., 2018; Chycki et al., 2016; Manimmanakorn et al., 2013) y un total de 327 (62.04%) sobre ambos parámetros de fuerza e hipertrofia (Allsopp et al., 2020; De Smet et al., 2017; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Kon et al., 2014; Kurobe et al., 2015; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Ramos-Campo et al., 2019; Törpel et al., 2020). Solo dos (10.53%) estudios (Camacho-Cardenosa et al., 2018; Manimmanakorn et al., 2013) seleccionaron población femenina para conocer el efecto de la hipoxia sobre la fuerza y la hipertrofia. Adicionalmente, dos (10.53%) (Allsopp et al., 2020; Törpel et al., 2020) investigaron el efecto de la hipoxia en población adulta mayor. Los participantes reportan una edad promedio de  $27.37 \pm 30.22$  años y un peso promedio de  $71.45 \pm 3.25$  kg.

Los estudios involucraron participantes saludables (n= 188, 35.67%) (Allsopp et al., 2020; De Smet et al., 2017; Kurobe et al., 2015; Martínez-Guardado et al., 2019; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016), entrenados o deportistas (n= 183, 34.72%) (Chycki et al., 2016; Inness et al., 2016; Kon et al., 2014; Manimmanakorn et al., 2013; Namboonlue et al., 2020; Ramos-Campo et al., 2019; Thuwakum et al., 2017) y sedentarios o desentrenados (n= 156, 29.60%) (Camacho-Cardenosa et al., 2018; Fashi & Ahmadizad, 2021; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Martínez Guardado et al., 2020; Nishimura et al., 2010). Los estudios analizaron el efecto del ejercicio contra resistencia en hipoxia con una frecuencia de 2 a 4 veces por semana, durante 4 a 12 semanas con un total de 10 a 36 sesiones. Las sesiones de entrenamiento consistían en 2 a 6 series y de 3 a 30 repeticiones. Adicionalmente solo cuatro estudios realizaron métodos de fallo muscular para sus sesiones (Fashi & Ahmadizad, 2021; Kurobe et al., 2015; Manimmanakorn et al., 2013; Martínez Guardado et al., 2020).

Seis estudios (31.57%), basaron su prescripción de la carga con base en porcentajes del 1RM menores al 50% (De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Manimmanakorn et al., 2013; Törpel et al., 2020). Por otro lado, dos artículos (10.59%) utilizaron cargas mayores al 80% del 1RM (Martínez-Guardado et al., 2019; Ramos-Campo et al., 2019), uno (5,26%) (Camacho-Cardenosa et al., 2018) utilizó la potencia máxima como valor referencia, y los 10 estudios restantes, (52.63%) utilizaron una carga de entrenamiento entre 50-80% del 1RM (Allsopp et al., 2020; Chycki et al., 2016; Inness et al., 2016; Kon et al., 2014; Kurobe et al., 2015; Martínez Guardado et al., 2020; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Thuwakum et al., 2017; Yan et al., 2016).

Diez (52.63%) investigaciones utilizaron ejercicios del miembro inferior exclusivamente (Camacho-Cardenosa et al., 2018; De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Manimmanakorn et al., 2013; Namboonlue et al., 2020; Thuwakum et al., 2017; Yan et al., 2016), dos (10.52%) en miembro superior (Kurobe et al., 2015; Nishimura et al., 2010), y siete (36.84%) combinaron ejercicios de miembros inferiores y superiores (Allsopp et al., 2020; Chycki et al., 2016; Kon et al., 2014; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Ramos-Campo et al., 2019; Törpel et al., 2020).

**Tabla 1***Principales características de los estudios seleccionados para la revisión sistemática*

Autores y año	FiO <sub>2</sub>	n Participantes	Estado físico	Edad (años)	Peso (kg)	Modalidad	Semanas	Sesiones	Sesiones/ Semana	Repeticiones	Series	Intensidad
(Friedmann et al., 2003)	HYP: 12	19 (♂)	Sedentarios	24,3 ± 2,5 25,1 ± 2,9	72,9 ± 9 77 ± 9	Ext de rodilla + flex de rodilla	4	12	3	25	6	30% de RM
(Nishimura et al., 2010)	HYP: 16 NOR: 21	14 (♂)	Sedentarios	21,4 ± 1,1	65,9 ± 8,1	Press francés + flex de codo	6	12	2	10	4	70% de RM
(Manimmanakorn et al., 2013)	SpO <sub>2</sub> al 80%	30 (♀)	Jugadoras de netball	20,2 ± 3,3	65,2 ± 6,5	Ext y flex de rodilla	5	15	3	Fallo muscular	6	20% de RM
(Ho et al., 2014)	HYP: 15 NOR: 21	18 (♂)	Sedentarios	21,3 ± 2	67,3 ± 9,7	Sentadilla	6	18	3	10	3	50% de RM
(Kon et al., 2014)	HYP: 14,4	16 (♂)	Entrenamiento recreacional	28,4 ± 1,6 28,2 ± 1,4	68,2 ± 2,2 65,8 ± 3,7	Press de banca + press de piernas	8	16	2	10	5	70% de RM
(Kurobe et al., 2015)	HYP: 12,7 NOR: 20,9	13 (♂)	Saludables	23 ± 1	60,2 ± 1,6	Ext de codo	8	24	3	Fallo muscular	3	10RM
(Chycki et al., 2016)	HYP: 12,9	12 (♂)	Entrenados	21 ± 2,4 22 ± 1,5	80,6 ± 12,3 81,1 ± 7,5	Press de banca + sentadilla con barra	6	12	2	10	8	70% de RM

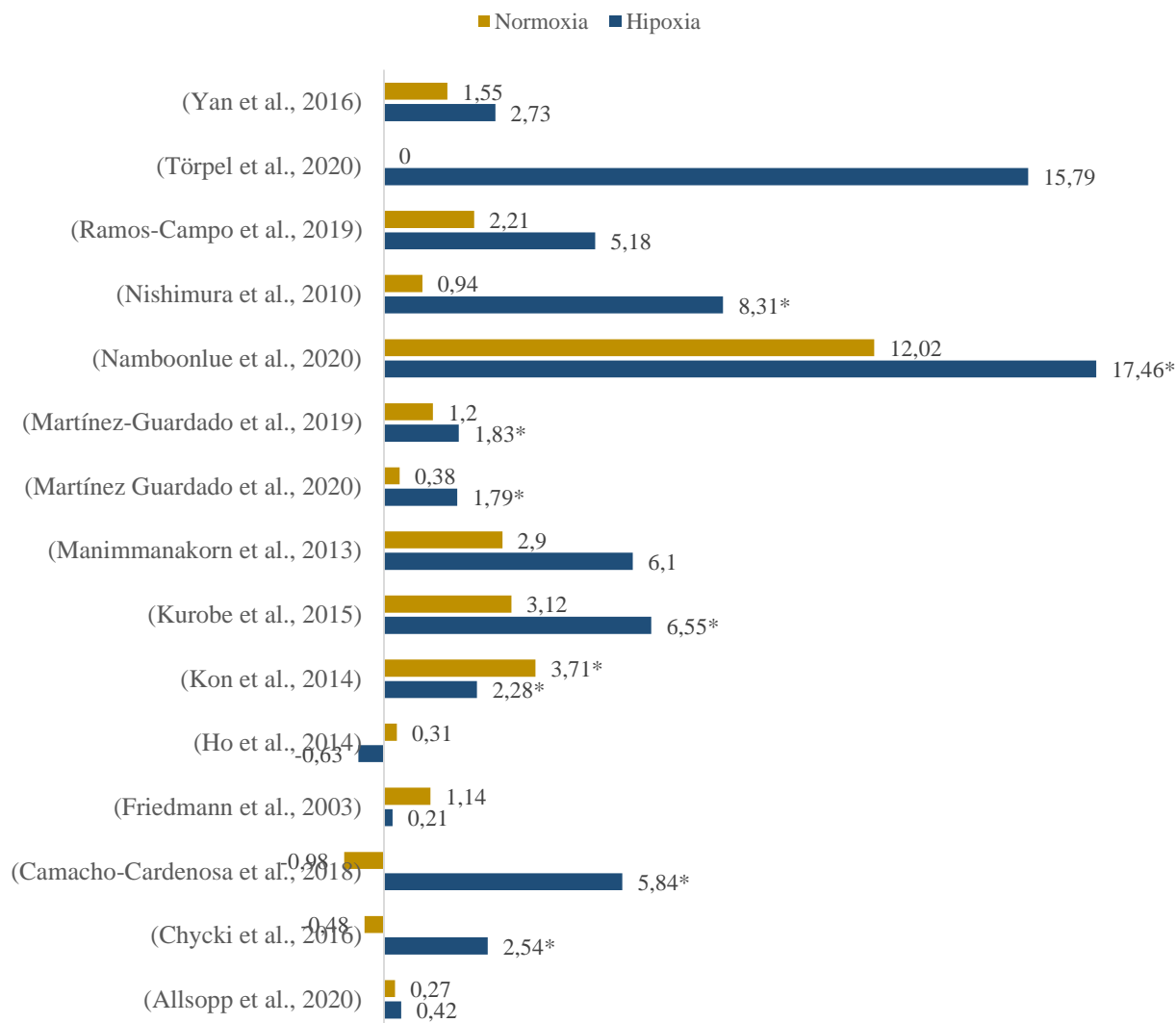
(Inness et al., 2016)	HYP: 14,5 NOR: 20	20 (♂)	Entrenados			Sentadilla + peso muerto + desplantes	7	21	3	3-6	2-4	50-70% de RM
(Yan et al., 2016)	HYP: 16 HYP: 12,6	25 (♂)	Saludables	22,2 ± 2,6	70,5 ± 10	Sentadilla	5	10	2	10	5	70% de RM
(De Smet et al., 2017)	HYP: 12,3- 16,4	18 (♂)	Sanos	23,9 ± 3,0	70,1 ± 6,6	Ext de rodilla	5	15	3	30	4-6	20-25% de RM
(Thuwakum et al., 2017)	HYP: 14 NOR: 20,9	40 (♂)	Entrenados	20,2 ± 1,7		Ext y flex de rodilla	5	15	3	15	6	30-80% de RM
(Camacho-Cardenosa et al., 2018)	HYP: 17,2 NOR: 20,9	59 (♀)	Sedentarias	41 ± 3,15	78,12 ± 14,70	HIIT	12	36	3	30seg – 3min	3-6	90-130 de Wmax
(Martínez-Guardado et al., 2019)	HYP: 15 NOR: 20,9	28 (♂)	Saludables	24,6 ± 6,8 23,2 ± 5,2	74,9 ± 11,5 69,4 ± 7,4	Contra resistencia cuerpo completo	8	16	2	6	6	85-90% de RM
(Ramos-Campo et al., 2019)	HYP: 15 NOR: 20,9	28 (♂)	Entrenados	24,6 ± 6,8 23,2 ± 5,2	74,9 ± 11,5 69,4 ± 7,4	Contra resistencia cuerpo completo	8	16	2	6	6	85-90% de RM
(Allsopp et al., 2020)	HYP: 14.4 NOR: 20.93	12 (♂) 8 (♀)	Saludables	65.9 ± 1.1 64 ± 0,8	70.7 ± 4.4 71,9 ± 4,3	Contra resistencia cuerpo completo	8	16	2	10	4	70% de RM



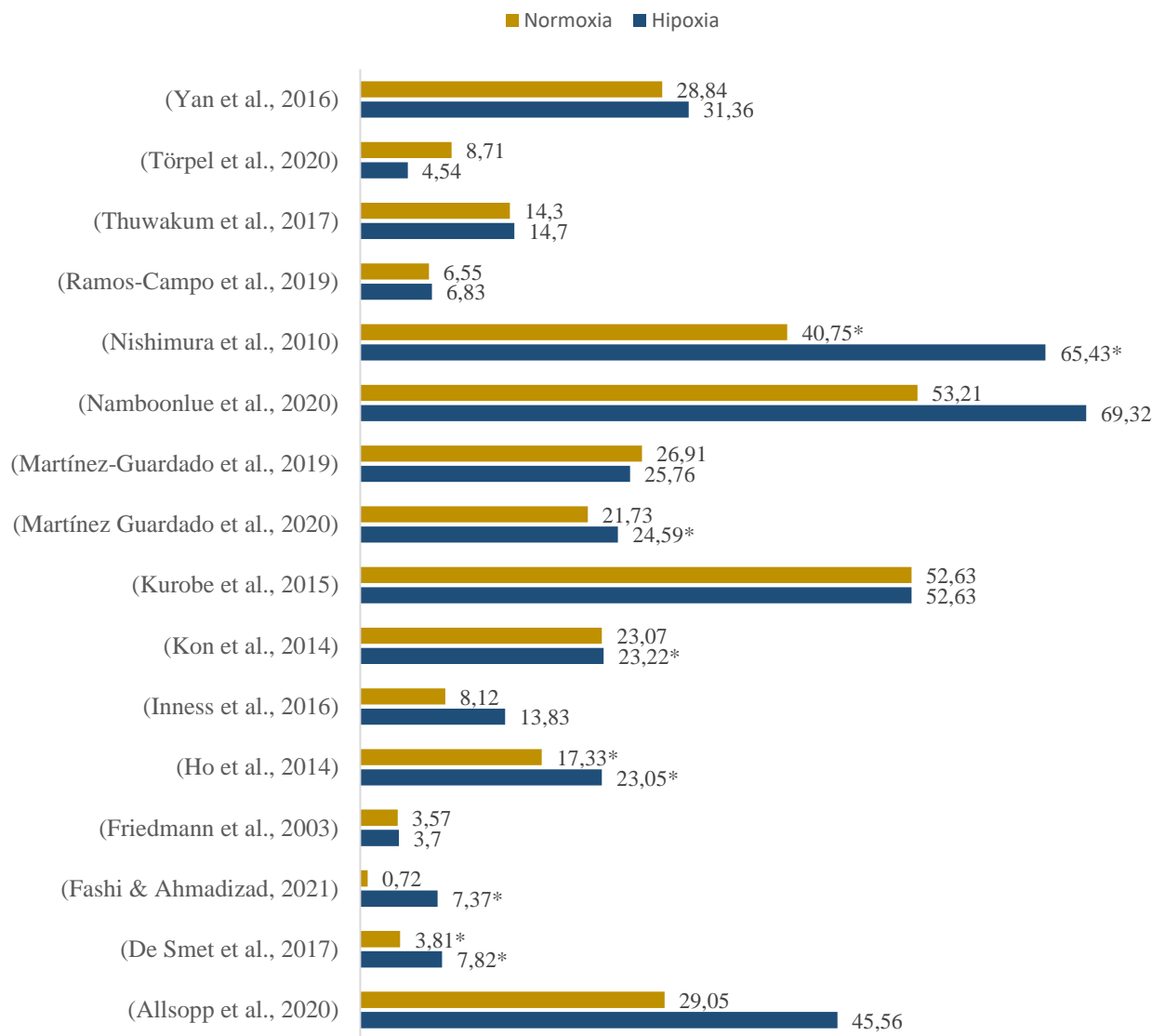
(Martínez Guardado et al., 2020)	HYP: 13 NOR: 21	32 (♂)	Sedentarios	25,7 ± 6,42	78,41 ± 12,07	Press de banca + flex de bíceps + press francés + pendlay + media sentadilla	7	21	3	Fallo muscular	3	65% de RM
(Namboonlue et al., 2020)	HYP: 13,6 HYP: 15,8	37 (♂)	Entrenados	19,5 ± 1,1		Ext y flex de rodilla	5	15	3	15	3	50-80% de RM
(Törpel et al., 2020)	SpO2 al 80-88%	84	Saludables	24,25 ± 4,05 67,95 ± 4,35	75,9 ± 11,65	Contra resistencia cuerpo completo	5	20	4	15	3	25-40% de RM
(Fashi & Ahmadizad, 2021)	HYP: 12,7 NOR: 20,9	14 (♂)	Sedentarios	21 ± 4		Sentadilla	4	12	3	Fallo muscular	3	50% de 10RM

*Nota.* HYP: hipoxia; NOR: normoxia; ♂: masculino; ♀: femenino.

## Efectividad sobre la hipertrofia y fuerza muscular



**Figura 4.** Porcentajes de cambio de la hipertrofia pre a post entrenamiento por grupo.  
\*diferencia sig.



**Figura 5.** Porcentajes de cambio de la fuerza pre a post entrenamiento por grupo. \*diferencia sig.

En las figuras 4 y 5, se puede observar que los 19 estudios mostraron mejoras en el porcentaje de cambio, en al menos uno de los dos grupos.

De los 15 estudios que midieron la variable hipertrofia, solo 3 presentaron mejorías significativas en el grupo control (Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Kon et al., 2014), mientras que los 12 restantes (Allsopp et al., 2020; Camacho-Cardenosa et al., 2018; Chycki et al., 2016; Kurobe et al., 2015; Manimmanakorn et al., 2013; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Ramos-Campo et al., 2019, 2019; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016) mostraron un porcentaje de cambio mayor en el grupo de hipertrofia con respecto a la medición 1 y 2 (figura 4).

De los 16 estudios que midieron la variable fuerza muscular, solo 2 presentaron mejoras significativas en el grupo control, 2 estudios tuvieron incremento en el porcentaje de cambio, pero sin diferencias entre los grupos (Kon et al., 2014; Kurobe et al., 2015), mientras que los 12 restantes (Allsopp et al., 2020; De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Martínez Guardado et al., 2020; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Ramos-Campo et al., 2019; Thuwakum et al., 2017; Yan et al., 2016) mostraron un mayor porcentaje de cambio en el grupo de hipoxia para la variable de fuerza con respecto a la medición 1 y 2 (figura 5).

(Camacho-Cardenosa et al., 2018; Chycki et al., 2016; De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Kon et al., 2014; Kurobe et al., 2015; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) 57.89% (n=11) reportan diferencias significativas entre los grupos.

Del total de estudios sobre la variable de hipertrofia muscular, 4 presentaron un porcentaje de cambio entre el 5-10% entre grupos (Camacho-Cardenosa et al., 2018; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020), 4 presentaron porcentajes de cambio entre 2-4.9% (Chycki et al., 2016; Kurobe et al., 2015; Manimmanakorn et al., 2013; Ramos-Campo et al., 2019) y 7 menores al 2% (Allsopp et al., 2020; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Kon et al., 2014; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Yan et al., 2016). Un artículo (Ho et al., 2014) presentó resultados adversos en el grupo hipoxia debido al entrenamiento (ver figura 4).

De los estudios que presentaron entre un 5 y un 10% en porcentaje de cambio en la variable de hipertrofia muscular. Los estudios de (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020) basaron su programa de entrenamiento de 4 a 7 semanas, por otro lado, (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020) incluyeron cargas de 3 a 4 series con 10 a 15 repeticiones, además, (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) aplicaron un porcentaje de esfuerzo de entre 50 a 70% de 1RM.

Del total de estudios sobre la variable de fuerza, 6 presentaron un porcentaje de cambio entre 5-25% entre grupos, (Allsopp et al., 2020; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) 3 presentaron porcentajes de cambio entre 2-4.9% (De Smet et al., 2017; Martínez Guardado et al., 2020; Yan et al., 2016), y 7 menores al 2% (Friedmann et al., 2003; Kon et al., 2014; Kurobe et al., 2015; Martínez-Guardado et al., 2019; Ramos-Campo et al., 2019; Thuwakum et al., 2017; Törpel et al., 2020), 2 artículos (Martínez-Guardado et al., 2019; Törpel et al., 2020) reportaron un porcentaje de cambio mayor de la variable fuerza en el grupo control (figura 5).

De los estudios que reportaron entre un 5-25% de porcentaje de cambio en la variable de fuerza muscular, (Allsopp et al., 2020; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) basaron su programa de entrenamiento de 4 a 8 semanas, (Allsopp et al., 2020; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) utilizaron cargas de entrenamiento de 3 a 4 series con 6 a 15 repeticiones y un porcentaje de esfuerzo del 50-70% de 1RM.

## DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión sistemática fue compilar la evidencia presente y actualizar los métodos y eficacia del entrenamiento contra resistencia en hipoxia para el desarrollo de fuerza e hipertrofia muscular. Los principales resultados, muestran una concordancia con los resultados obtenidos por una revisión sistemática previa (Ramos-Campo et al., 2018). Esta actualización confirma que, en la mayoría de los casos, el entrenamiento contra resistencia bajo condiciones de hipoxia provoca mejoras significativas en la fuerza y la hipertrofia muscular. Sin embargo, algunos estudios, no reportan una mejora sustancial en comparación al entrenamiento en normoxia y esto sugiere que mayor cantidad y calidad de evidencia científica que debe de ser reportada hasta tener resultados contundentes en cuanto a la efectividad del este entrenamiento. Cabe destacar que algunos estudios con mejoras más significativas en el porcentaje de cambio en grupo hipoxia, han destacado algunas similitudes metodológicas, por lo que se pueden plantear recomendaciones que pueden mejorar la calidad de futuros estudios y así mejorar la comparabilidad de resultados, así como dar el salto a realizar un meta análisis sobre este tema en particular, cuando el volumen de estudios permita tener fuertes conclusiones.

Se conoce que el entrenamiento de fuerza muscular conduce a adaptaciones, estructurales o neuronales y que esas mejoras influyen el crecimiento muscular y la capacidad del músculo para generar fuerza, en sus diferentes manifestaciones (Costa & Magallanes, 2021; Mosteiro-Muñoz & Domínguez, 2017), el entrenamiento de fuerza no solo contribuye al rendimiento deportivo (Chycki et al., 2016; Inness et al., 2016; Kon et al., 2014; Manimmanakorn et al., 2013; Namboonlue et al., 2020; Ramos-Campo et al., 2019; Thuwakum et al., 2017), sino que es también beneficioso para la salud (Allsopp et al., 2020; Camacho-Cardenosa et al., 2018; De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Kurobe et al., 2015; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016). Más específicamente, el entrenamiento de la fuerza y la resistencia muscular, da origen a adaptaciones morfológicas, como la hipertrofia e incremento de la fuerza y otras más específicas como lo son cambios en el diámetro de la fibra muscular, síntesis proteica de miofibrillas y aumento de la capacidad anaeróbica (Costa & Magallanes, 2021; Fernández-Lázaro et al., 2019; Mosteiro-Muñoz & Domínguez, 2017). Además provoca modificaciones en características metabólicas como la síntesis mitocondrial, aumentos en la tolerancia al lactato, mejoras en la función oxidativa y de la capacidad de resistencia muscular (Fernández-Lázaro et al., 2019).

Con base en lo anterior, se puede inferir que el entrenamiento de fuerza induce a estos cambios debido al estrés metabólico que genera, puesto que las vías energéticas utilizadas en este tipo de entrenamiento, genera una situación anabólica que a su vez provoca un aumento en las proteínas de señalización anabólica, dando paso a la creación de metabolitos que promueven la síntesis proteica miofibrilar. (Fernández-Lázaro et al., 2019)

Consecuentemente, esas proteínas musculares, entran en equilibrio junto con células satélite y se unen a la fibra muscular. Ese equilibrio solo se lleva a cabo cuando la tasa de síntesis de proteínas supera al de su descomposición, además del trabajo realizado por las células satélite en la hipertrofia del músculo (Benito Jiménez, 2020; Fernández-Lázaro et al., 2019).

Cuestionamientos sobre cómo interviene el entrenamiento en hipoxia sobre la hipertrofia muscular y el desarrollo de la fuerza, es un tema que ha tomado relevancia en los últimos años, parte de la teoría se asocia con un mayor estrés metabólico en comparación al entrenamiento en normoxia, puesto que hay más dependencia del metabolismo anaeróbico y contribuye a las adaptaciones musculares (Ramos-Campo et al., 2019; Scott et al., 2016). Se ha postulado al entrenamiento en hipoxia, como un factor que estimula el crecimiento capilar por medio de una mayor producción de óxido nítrico y una mayor vasodilatación, como también una mayor expresión del gen Factor de Crecimiento Endotelial Vascular (VEGF por sus siglas en inglés) que es inducida por el HIF-1, estas señalizaciones por la activación del factor HIF, afecta la expresión de un mayor número de genes, la mayoría de estos genes tienen relevancia funcional en tejido muscular, partiendo de que los HIF son clave para la expresión de los genes relacionados con la eritropoyesis y la angiogénesis, así como los encargados de la regulación del pH y la glucólisis, puede relacionarse a esas adaptaciones musculares (De Smet et al., 2017; Fernández-Lázaro et al., 2019).

### **Cambios en el tamaño del músculo por condiciones de hipoxia**

Se observó que, comparado al entrenamiento en normoxia, la hipoxia ha presentado algunos resultados positivos en relación con el crecimiento muscular (Allsopp et al., 2020; Camacho-Cardenosa et al., 2018; Chycki et al., 2016; Kurobe et al., 2015; Manimmanakorn et al., 2013; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Ramos-Campo et al., 2019; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016). Sin embargo, en estos resultados, para algunos estudios no se vio un cambio sustancial en comparación entre grupos (normoxia vs hipoxia), lo que puede sugerir que un método de entrenamiento no es ni más ni menos efectivo que otro.

Los estudios que presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en el grupo de hipoxia (Camacho-Cardenosa et al., 2018; Chycki et al., 2016; Kurobe et al., 2015; Martínez Guardado et al., 2020; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010), pueden ser un punto de partida metodológica, ya que como se mencionó anteriormente, no existe una línea marcada para la investigación en hipoxia.

Se encontró en algunos estudios mayores beneficios en el grupo hipóxico, una cierta línea metodológica como por ejemplo, programas de entrenamiento de entre 4 a 7 semanas (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020), lo que se puede considerar como un tiempo de entrenamiento relativamente moderado, ya que, por su parte (Nishimura et al., 2010) habla sobre la exposición crónica a la altitud y como esta, puede conducir a un efecto adverso a la hipertrofia, ya que una exposición prolongada puede generar una reducción en el área de sección transversal del músculo (CSA), es decir una disminución en el tamaño de las fibras musculares. Por otro lado, existe similitud en los estudios de, donde se encontraron mejoras sustanciales en el porcentaje de cambio para el grupo de hipoxia (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010), y en donde aplicaron cargas moderadas del 50-70% de 1RM. Caso contrario en otros estudios (Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014), se aplicaron porcentajes menores al 50% de 1RM en su metodología y consiguieron un efecto adverso al esperado, ya que el grupo control tuvo una mejora mayor en un ambiente normóxico.

En cuanto a volumen de trabajo, los tres artículos con mayor porcentaje de cambio en el grupo de hipoxia, seleccionaron una programación de 3 a 4 series con 10 a 15 repeticiones

(Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020), caso contrario a estudios que utilizaron 6 series con muchas repeticiones >15 (Friedmann et al., 2003). También es importante recalcar que estos tres estudios, utilizaron diferentes segmentos corporales en sus diseños de estudio, lo que evidencia que las ganancias en hipertrofia con condiciones de hipoxia, pueden ser alcanzadas independientemente de la zona corporal que se estimule (Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010; Törpel et al., 2020).

### **Cambios en la fuerza muscular por condiciones de hipoxia**

Como se menciona anteriormente, el entrenamiento de la fuerza en condiciones de hipoxia, ha abierto un nuevo horizonte sobre programas de entrenamiento para mejorar la capacidad de la fuerza, como se plantea en algunos estudios (Martínez-Guardado et al., 2019), que el entrenamiento en condiciones de hipoxia podría promover incrementos en el tamaño y la fuerza del músculo, inclusive mejores que el entrenamiento en normoxia. Sin embargo, los resultados encontrados en esta revisión sistemática, aun no son contundentes en asegurar un beneficio significativamente mayor en la fuerza en condiciones de hipoxia, aunque si es importante mencionar que en comparación a la hipertrofia, en fuerza, todos los estudios tuvieron un efecto positivo en el incremento de la variable, y solo uno (Martínez-Guardado et al., 2019) tuvo una mejora levemente mayor en el grupo control, inclusive, se encontraron mejoras significativas ( $p < 0.05$ ) en el grupo hipoxia en algunos estudios (De Smet et al., 2017; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Kon et al., 2014; Martínez-Guardado et al., 2020; Nishimura et al., 2010).

Al igual que la variable de hipertrofia, se encontró una línea metodológica en los resultados de fuerza en algunos estudios con un porcentaje de cambio mayor (Allsopp et al., 2020; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010). Estos estudios, comparten la duración de la intervención (4 a 8 semanas) (Allsopp et al., 2020; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010), además reportaron una intensidad de la carga del 50-70%, considerándose una carga baja-moderada. Estos protocolos provocaron resultados positivos en relación al cambio posterior a la finalización del programa de entrenamiento. Adicionalmente, se reporta resultados incremento de la fuerza en condiciones de hipoxia, cuando se aplica una carga baja de entrenamiento (Namboonlue et al., 2020). Esto puede verse evidenciado en el estudio de (Martínez-Guardado et al., 2019), donde se utilizaron porcentajes de esfuerzo de 85-90% de 1RM y el grupo control, tuvo una mejora mayor en la fuerza.

No se sabe a ciencia cierta cuáles son los mecanismos fisiológicos que provoca la baja carga en el entrenamiento de fuerza. Se piensa que las fibras musculares tipo I, entran en fatiga antes con un ambiente hipóxico de baja carga y se da un reclutamiento mayor, lo que provoca un mayor estrés en las fibras tipo II, generando adaptación con el tiempo y dando paso a la hipertrofia, que a su vez promueve la ganancia de fuerza (Manimmanakorn et al., 2013), el reclutamiento de fibras tipo II puede generar alteraciones en la hormona de crecimiento y en la testosterona, que impulsan la hipertrofia y la fuerza muscular (Kurobe et al., 2015; Yan et al., 2016).

Respecto al volumen de entrenamiento, los estudios con mayor porcentaje de cambio (Allsopp et al., 2020; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) realizaron su programa de entrenamiento con 3 a 4 series y de 6 a 15 repeticiones,

caso contrario a lo utilizado por (Kurobe et al., 2015), donde se utilizaron 3 series al fallo muscular y los resultados tuvieron muy poco impacto en el grupo de hipoxia en comparación al grupo control, (Friedmann et al., 2003) también tuvo poco impacto entre el porcentaje de cambio entre grupos, utilizando >25 repeticiones. Respecto a los segmentos corporales utilizados en los estudios con mayor porcentaje de cambio (Allsopp et al., 2020; Fashi & Ahmadizad, 2021; Ho et al., 2014; Inness et al., 2016; Namboonlue et al., 2020; Nishimura et al., 2010) implementaron diferentes zonas corporales, por lo que no hay una línea en la que se pueda decir con claridad en cual zona hay mayores cambios, lo que puede confirmar que los cambios en fuerza bajo condiciones de hipoxia, se pueden dar en cualquier segmento corporal.

## **LIMITACIONES**

Una limitación importante de la presente revisión sistemática, es la falta de estudios previos que permitan establecer un consenso en la metodología de entrenamiento utilizada, ya que, existe cierta heterogeneidad en el diseño y metodología de los estudios lo que provoca poca claridad en relación a cuál es el mejor diseño y programación de ejercicio para desencadenar mejoras significativas en el entrenamiento en condiciones de hipoxia en comparación con la normoxia.

## **APLICACIONES PRÁCTICAS**

A pesar de que, desde el 2018 (Ramos-Campo et al., 2018), el flujo de estudios ha aumentado en un 52.63%, se puede considerar que la evidencia en relación al efecto del entrenamiento contra resistencia en condiciones de hipoxia aún está en crecimiento y se debe ahondar más sobre este tema. Sin embargo, los resultados de esta investigación, aclaran el panorama en relación a las consideraciones metodológicas de la programación y prescripción del ejercicio de fuerza en condiciones de hipoxia normobárica. Además, esta sistematización podría servir como base para recomendar y orientar a investigadores y profesionales del movimiento humano en sus intervenciones prácticas. Lo anterior debido a que existen ciertos estudios cuya efectividad parece ser mayor y sus diseños poseen ciertas similitudes metodológicas. Los efectos observados en las diferentes investigaciones, sugieren que los cambios en fuerza e hipertrofia son más efectivos si se trabaja a intensidades moderadas 50 a 70% de RM, entre 4 a 6 series y repeticiones no mayores a 15 (consideradas como moderadas), importante también mencionar, que los porcentajes de FiO<sub>2</sub> en todos los estudios, para el grupo hipoxia, fueron de entre 12 a 17,2. Estos hallazgos sugieren que existen diferencias individuales (e.g., genéticas, morfológicas, fisiológicas) en ciertos participantes que pueden conllevar a un mayor beneficio en condiciones hipóxicas. La potencial diferencia en la efectividad del entrenamiento de fuerza hipóxico entre participantes considerando la genética, el sexo, la edad, la condición física, el entrenamiento previo y la morfología y condiciones particulares de ciertos grupos étnicos, podría servir como punto de partida para nuevos estudios científicos en aras de encontrar el grado óptimo de carga de entrenamiento para tomar más provecho a esta modalidad de entrenamiento.



## **CONCLUSIÓN**

La presente revisión sistemática concluye que hay efectos positivos en el tamaño y la capacidad de generar fuerza en el músculo debido al entrenamiento en hipoxia normobárica. Sin embargo, algunos estudios no mostraron un beneficio estadísticamente mayor en comparación a los grupos de normoxia, seis para hipertrofia (Allsopp et al., 2020; Friedmann et al., 2003; Ho et al., 2014; Manimmanakorn et al., 2013; Ramos-Campo et al., 2019; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016) y diez para fuerza (Allsopp et al., 2020; Friedmann et al., 2003; Inness et al., 2016; Kurobe et al., 2015; Martínez-Guardado et al., 2019; Namboonlue et al., 2020; Ramos-Campo et al., 2019; Thuwakum et al., 2017; Törpel et al., 2020; Yan et al., 2016). Se puede inferir que esta diferencia de resultados surge debido a la heterogeneidad metodológica entre los estudios extraídos. Lo anterior a pesar de que se identificó un patrón en la programación de ejercicio, en los que se toman aspectos de carga del entrenamiento, en los estudios que mostraron mayores mejoras en el grupo de hipoxia. Sin embargo, aún son relativamente pocos los artículos científicos que testean esta metodología de entrenamiento, por lo que los resultados de esta revisión sistemática, sugieren la importancia de continuar con los estudios en esta línea de investigación y tomar en cuenta los presentes resultados para valorar el diseño metodológico de futuras investigaciones.

## REFERENCIAS

- Allsopp, G. L., Hoffmann, S. M., Feros, S. A., Pasco, J. A., Russell, A. P., & Wright, C. R. (2020). The Effect of Normobaric Hypoxia on Resistance Training Adaptations in Older Adults. *Journal of strength and conditioning research*.
- Benito Jiménez, C. (2020). *Volumen de entrenamiento como variable principal para la hipertrofia muscular*. <https://doi.org/10/43518>
- Cáceres, S. A. (2017). *Entrenamiento hipóxico y su relación en el rendimiento deportivo en atletas de las modalidades de fondo y semifondo de Federación Deportiva de Chimborazo*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/25445>
- Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., Burtscher, M., Martínez-Guardado, I., Timon, R., Brazo-Sayavera, J., & Olcina, G. (2018). High-Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia Leads to Greater Body Fat Loss in Overweight/Obese Women than High-Intensity Interval Training in Normoxia. *Frontiers in Physiology*, 9, 60. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00060>
- Capote Lavandero, G., Torres, Á., Analuiza, E., Sánchez, C., & Rendón Morales, P. (2017). El deporte, el entrenamiento deportivo y los entrenadores. *Lecturas: educación física y deportes*, 22, 1-7.
- Cenia de la Caridad, P. L., Claudia Gracil, L. N., & Raúl Enrique, G. B. (2020, mayo 22). ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y RESISTENCIA EN HIPOXIA: EFECTO EN LA HIPERTROFIA MUSCULAR. *I Congreso Virtual de Ciencias Básicas Biomédicas de Granma*. I Congreso Virtual de Ciencias Básicas Biomédicas de Granma. <http://www.cibamanz2020.sld.cu/index.php/cibamanz/cibamanz2020/paper/view/487>
- Chycki, J., Czuba, M., Gołaś, A., Zajac, A., Fidos-Czuba, O., Młynarz, A., & Smółka, W. (2016). Neuroendocrine Responses and Body Composition Changes Following Resistance Training Under Normobaric Hypoxia. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 91-98. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0013>
- Costa, F., & Magallanes, C. (2021). Effects of traditional strength training vs CrossFit on different expressions of strength. *Retos: Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 42, 182.
- De Smet, S., van Herpt, P., D'Hulst, G., Van Thienen, R., Van Leemputte, M., & Hespel, P. (2017). Physiological Adaptations to Hypoxic vs. Normoxic Training during Intermittent Living High. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00347>
- Fashi, M., & Ahmadizad, S. (2021). Short-term hypoxic resistance training improves muscular performance in untrained males. *Science & Sports*, S0765159721000058. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.10.003>
- Fernández-Lázaro, D., Díaz, J., Caballero, A., & Córdova, A. (2019). Entrenamiento de fuerza y resistencia en hipoxia: Efecto en la hipertrofia muscular. *Biomédica*, 39(1), 212-220. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i2.4084>
- Friedmann, B., Kinscherf, R., Borisch, S., Richter, G., Bärtsch, P., & Billeter, R. (2003). Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 446(6), 742-751. <https://doi.org/10.1007/s00424-003-1133-9>
- Garner, P., Hopewell, S., Chandler, J., MacLehose, H., Akl, E. A., Beyene, J., Chang, S., Churchill, R., Dearness, K., Guyatt, G., Lefebvre, C., Liles, B., Marshall, R.,

- García, L. M., Mavergames, C., Nasser, M., Qaseem, A., Sampson, M., Soares-Weiser, K., ... Schünemann, H. J. (2016). When and how to update systematic reviews: Consensus and checklist. *BMJ*, *354*, i3507. <https://doi.org/10.1136/bmj.i3507>
- Ho, J.-Y., Kuo, T.-Y., Liu, K.-L., Dong, X.-Y., & Tung, K. (2014). Combining Normobaric Hypoxia With Short-term Resistance Training Has No Additive Beneficial Effect on Muscular Performance and Body Composition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(4), 935-941. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000289>
- Inness, M. W. H., Billaut, F., Walker, E. J., Petersen, A. C., Sweeting, A. J., & Aughey, R. J. (2016). Heavy Resistance Training in Hypoxia Enhances 1RM Squat Performance. *Frontiers in Physiology*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00502>
- Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., Hirano, Y., & Russell, A. P. (2014). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiological Reports*, *2*(6), e12033. <https://doi.org/10.14814/phy2.12033>
- Kurobe, K., Huang, Z., Nishiwaki, M., Yamamoto, M., Kanehisa, H., & Ogita, F. (2015). Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *35*(3), 197-202. <https://doi.org/10.1111/cpf.12147>
- López Nieto, C. Y., Pérez Labrada, C. de la C., López Nieto, C. G., & Garcés Banqueris, R. E. (2020). *ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y RESISTENCIA EN HIPOXIA: EFECTO EN LA HIPERTROFIA MUSCULAR*. I Congreso Virtual de Ciencias Básicas Biomédicas de Granma.
- Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(4), 337-342. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009>
- Martínez Guardado, I., Sánchez Ureña, B., Camacho Cardenosa, A., Camacho Cardenosa, M., Olcina Camacho, G., & Timón Andrada, R. (2020). Effects of strength training under hypoxic conditions on muscle performance, body composition and haematological variables. *Biology of Sport*, *37*(2), 121-129. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2020.93037>
- Martínez-Guardado, I., Ramos-Campo, D. J., Olcina, G. J., Rubio-Arias, J. A., Chung, L. H., Marín-Cascales, E., Alcaraz, P. E., & Timón, R. (2019). Effects of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on body composition and strength performance. *European Journal of Sport Science*, *19*(7), 941-951. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1564796>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, T. P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, *6*(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Mosteiro-Muñoz, F., & Domínguez, R. (2017). Efectos del entrenamiento con sobrecargas isoinerciales sobre la función muscular / Effects of Inertial Overload Resistance Training on Muscle Function. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, *68*(2017). <https://doi.org/10.15366/rimcafd2017.68.011>

- Namboonlue, C., Hamlin, M. J., Sirasaporn, P., Manimmanakorn, N., Wonnabussapawich, P., Thuwakum, W., Sumethanurakkhakun, W., & Manimmanakorn, A. (2020). Optimal degree of hypoxia combined with low-load resistance training for muscle strength and thickness in athletes. *Journal of Physical Education & Sport*, 20(2).
- Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia Increases Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 497-508. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.497>
- Parodi, A., Capuccio, Á., & Magallanes, C. (2020). *Efectos de 20 semanas de utilización de máscaras de entrenamiento en altura durante un programa de entrenamiento funcional*. <http://www.accede.iuacj.edu.uy/xmlui/handle/20.500.12729/429>
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Othalawa, S., Andreu, L., Timón, R., & Alcaraz, P. E. (2019). Muscle Architecture and Neuromuscular Changes After High-Resistance Circuit Training in Hypoxia. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003275>
- Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. A., Dufour, S., Chung, L., Ávila-Gandía, V., & Alcaraz, P. E. (2017). Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 809-818. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3571-7>
- Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. Á., Freitas, T. T., Camacho, A., Jiménez-Díaz, J. F., & Alcaraz, P. E. (2017). Acute Physiological and Performance Responses to High-Intensity Resistance Circuit Training in Hypoxic and Normoxic Conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1040-1047. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001572>
- Ramos-Campo, D. J., Scott, B. R., Alcaraz, P. E., & Rubio-Arias, J. A. (2018). The efficacy of resistance training in hypoxia to enhance strength and muscle growth: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 18(1), 92-103. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1388850>
- Scott, B. R., Goods, P. S. R., & Slattery, K. M. (2016). High-Intensity Exercise in Hypoxia: Is Increased Reliance on Anaerobic Metabolism Important? *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00637>
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Lockhart, C., & Dascombe, B. J. (2017). Acute Physiological Responses to Moderate-Load Resistance Exercise in Hypoxia. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(7), 1973-1981. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001649>
- Thuwakum, W., Hamlin, M. J., Manimmanakorn, N., Leelayuwat, N., Wonnabussapawich, P., Boobpachat, D., & Manimmanakorn, A. (2017). *Low-load resistance training with hypoxia mimics traditional strength training in team sport athletes*. <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.01036>
- Törpel, A., Peter, B., & Schega, L. (2020). Effect of Resistance Training Under Normobaric Hypoxia on Physical Performance, Hematological Parameters, and Body Composition in Young and Older People. *Frontiers in Physiology*, 11, 335. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00335>
- Tugwell, P., Welch, V. A., Karunanathan, S., Maxwell, L. J., Akl, E. A., Avey, M. T., Bhutta, Z. A., Brouwers, M. C., Clark, J. P., Cook, S., Cuervo, L. G., Curran, J. A.,

Ghogomu, E. T., Graham, I. G., Grimshaw, J. M., Hutton, B., Ioannidis, J. P. A., Jordan, Z., Jull, J. E., ... White, H. (2020). When to replicate systematic reviews of interventions: Consensus checklist. *BMJ*, *370*, m2864.

<https://doi.org/10.1136/bmj.m2864>

Yan, B., Lai, X., Yi, L., Wang, Y., & Hu, Y. (2016). Effects of Five-Week Resistance Training in Hypoxia on Hormones and Muscle Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(1), 184-193.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001056>