

Colección Ciencias de la Salud

# Caracterización del *fitness* del militar colombiano



Miles Doctus

# Caracterización del *fitness* del militar colombiano



ESCUELA MILITAR DE CADETES  
"General José María Córdova"

### **Ciencias de la Salud (CCS)**

Esta colección está constituida por aquellas investigaciones que ayudan a definir las formas óptimas de entrenamiento físico y del deporte en el ámbito militar en concordancia con los últimos avances médicos y biotecnológicos. Algunos problemas en estas ciencias giran en torno a conceptos clave como medición, rendimiento y cultura física. El énfasis se puede poner en aspectos cuantitativos, cualitativos o ambos, según el objeto de estudio que se aborde, el método utilizado y los resultados que se espera obtener.

### **Cultura física y deporte**

Las ciencias de la actividad física estudian el movimiento del hombre mediante el entrenamiento regular y constante, cuyo cuadro comportamental en el ejercicio deportivo está sometido a controles periódicos para la mejora del rendimiento de las personas implicadas en dicho régimen de entrenamiento y según sus diferentes tipos y especialidades. Pero la nota especial agregada radica en los elementos específicos de los ejercicios dispuestos para afrontar tanto las operaciones militares como las competencias deportivas en las que participan miembros del Ejército Nacional.

# Caracterización del *fitness* del militar colombiano

Jenner Rodrigo Cubides Amézquita  
Coordinador



Bogotá, D. C., 2020

Catalogación en la publicación - Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova"

Caracterización del fitness del militar colombiano / Coordinador Jenner Rodrigo Cubides Amézquita. -- Bogotá: Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova", 2020.

174 páginas: |b ilustraciones, cuadros, gráficas; 17 cm  
Incluye bibliografía al final del cada capítulo

ISBN: 978-958-52414-3-5

E-ISBN: 978-958-52414-6-6

(Colección Ciencias de la Salud - CCS)

1. Antropometría -- Colombia 2. Aptitudes físicas -- Pruebas 3. Entrenamiento militar -- Pruebas 4. Militares -- Educación -- Colombia i. Cubides Amézquita, Jenner R., (coordinador) ii. Gómez Leguizamón, Maritza, (autor) iii. Mora Plazas, Mercedes, (autor) iv. Aedo-Muñoz, Esteban (autor) v. Mesa, Juan Camilo (autor) vi. Chavarro Castañeda, Iván Darío, Capitán (autor) vii. García Muñoz, Ana Isabel (autor) viii. Al Gazwi, Hassan Ali (autor) ix. Abdulla Al Robeh, Zainab (autor) x. Puentes Salazar, Angélica María (autor) xi. Sarmiento Becerra, Oscar Mauricio (autor) xii. Rodríguez-Camacho, Diego Fabricio (autor) xiii. Correa-Mesa, Juan Felipe (autor) xiv. Díaz Pinilla, María Alejandra (autor) xv. Argothy Buchelli, Rodrigo (autor) xvi. Malaver-Moreno, Jonathan R. (autor) xvii. Colombia. Ejército Nacional.

GV435.C37 2020

Registro Catálogo SIBFA 113660

370.155 -- 23



Archivo descargable en formato MARC en: <https://tinyurl.com/esmic113660>

Título: Caracterización del *fitness* del militar colombiano

Primera edición, 2020

Jenner Rodrigo Cubides Amézquita

2020 Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova"

Departamento de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación

Calle 80 N.º 38-00. Bogotá, D. C., Colombia

Teléfono: +57 (1) 3770850 ext. 1104

Correo electrónico: [selloeditorial@esmic.edu.co](mailto:selloeditorial@esmic.edu.co)

Libro electrónico publicado a través de la plataforma Open Monograph Press.

Tiraje de 100 ejemplares

Impreso en Colombia - *Printed in Colombia*

Impreso por Multi Impresos S. A. S.

ISBN impreso 978-958-52414-3-5

ISBN digital 978-958-52414-6-6

<https://doi.org/10.21830/9789585241466>

El contenido de este libro corresponde exclusivamente al pensamiento de los autores y es de su absoluta responsabilidad. Las posturas y aseveraciones aquí presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representa la posición oficial ni institucional de la Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova".



Los libros publicados por el Sello Editorial ESMIC son de acceso abierto bajo una licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.esr>



ESCUELA MILITAR DE CADETES  
"General José María Córdova"

DIRECTIVOS

DIRECTOR ESCUELA MILITAR DE CADETES  
Brigadier General **Arnulfo Traslaviña Sáchica**

SUBDIRECTOR ESCUELA MILITAR DE CADETES  
Coronel **Javier Hernando Africano López**

VICERRECTOR ACADÉMICO ESCUELA MILITAR DE CADETES  
Coronel **Milton Mauricio Lozada Andrade**



DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN,  
DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE I + D + I  
Teniente Coronel Carlos Andrés Díaz Irreño

COORDINADOR DEL SELLO EDITORIAL ESMIC  
William Castaño Marulanda

CORRECCIÓN DE ESTILO  
Felipe Solano Fitzgerald

ASESORA DE TRADUCCIÓN  
Gypsy Bonny Español Vega

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN  
Rubén Alberto Urriago Gutiérrez

## *Agradecimientos*

Sea esta la oportunidad para agradecer al hoy Comandante del Ejército Nacional, quien en su paso por la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” como Director fue el gestor inicial de los proyectos de investigación que integran esta obra. Al actual Director de la Escuela Militar de Cadetes, gracias por el apoyo incondicional prestado para llevar a feliz término y dar a conocer los resultados de la investigación. A los sucesivos jefes del ahora Departamento de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I + D + i) de la misma institución, agradecerles por la constante ayuda en el planeamiento, desarrollo y publicación del libro. Y, lo más importante, un reconocimiento muy especial a cada uno de los investigadores y autores de los capítulos, sin quienes no hubiese sido posible la realización de todo el proyecto.



# Contenido

Prólogo / 11

Introducción / 13

## Capítulo 1

Índice de masa corporal en militares y otros indicadores antropométricos / 17

*Maritza Gómez Leguizamón y Mercedes Mora Plazas*

## Capítulo 2

Cambios antropométricos en estudiantes del curso avanzado de combate en la Escuela Militar de Cadetes / 39

*Daniel Fernando Aparicio Gómez*

## Capítulo 3

Composición corporal por bioimpedancia eléctrica en estudiantes de escuelas de formación del Ejército colombiano / 57

*Jenner Cubides Amézquita, Esteban Aedo-Muñoz, Juan Camilo Mesa y CT. Iván Darío Chavarro Castañeda*

## Capítulo 4

Equivalentes ventilatorios y pulso de oxígeno máximos en la fase precompetitiva de deportistas militares. (Un estudio observacional) / 79

*Ana Isabel García Muñoz, Hassan Ali Gazwi y Zainab Abdulla Al Robeh*

### **Capítulo 5**

Caracterización del consumo de oxígeno en población especial de la Afeau / 97

*Angélica María Puentes Salazar y Oscar Mauricio Sarmiento Becerra*

### **Capítulo 6**

Relación entre la flexibilidad lumbar e isquiotibial en pentatletas de la Escuela Militar de Cadetes / 109

*Diego Fabricio Rodríguez-Camacho y Juan Felipe Correa-Mesa*

### **Capítulo 7**

Caracterización neuromuscular de miembros inferiores en alumnos de primer nivel de la Escuela Militar de Cadetes / 123

*María Alejandra Díaz Pinilla y Rodrigo Argothy Buchelli*

### **Capítulo 8**

Factores de riesgo para Síndrome de Estrés Tibial Medial en cadetes en formación / 143

*Jonathan R. Malaver-Moreno, Jenner R. Cubides, Rodrigo E. Argothy y Esteban Aedo-Muñoz*

### **Capítulo 9**

Conclusión general / 171

## *Prólogo*

A menudo escucho que los seres humanos son poco atléticos en comparación con otros mamíferos, sin embargo, estos utilizan principalmente sus capacidades para la supervivencia y el cuidado de los suyos, algo muy similar a nuestros cuerpos militares, los cuales deben soportar una alta demanda física y mental, siendo capaces de soportar diversas condiciones climáticas y avances propios de estos tiempos de evolución. Es por ello que el conocimiento del impacto que provoca el entrenamiento militar es prioritario en cualquier ejército profesional. La siguiente obra busca contribuir desde la ciencia, cómo podríamos explicar y valorar el impacto que tiene este entrenamiento en distintos aspectos de la condición física de nuestros ejércitos. Invitamos al lector a encontrar en estas líneas, los diferentes aspectos del *fitness militar* evaluados en grupos poblacionales del Ejército de Colombia.

**Esteban A. Adeo Muñoz. PhD.**

Coordinador Laboratorio Biomecánica

Centro de Alto Rendimiento - Chile



# *Introducción*

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.00>

*Jenner Rodrigo Cubides Amézquita*

Uno de los grandes retos que tiene la ciencia es transmitir de manera adecuada los conocimientos que se producen en las investigaciones basadas en el método científico o que se generan de la interacción de los individuos con su entorno. La transmisión y evolución del conocimiento evita que la comunidad académica caiga en errores repetitivos y sistemáticos, los cuales hacen que cualquier tipo de proyecto fracase. De igual forma, si los avances científicos no se comunican, se mantendrán los vacíos de conocimiento e incluso en algunos casos se perpetuarán. De allí la importancia que tiene divulgar la producción científica, objetivo principal de esta obra.

Una de las grandes limitantes en la aplicación de la investigación con población militar es que se importan datos de otros estudios que no reflejan las características ni condiciones del soldado colombiano, y aun así se aplican y apropian como si se tratara de la misma muestra de estudio. Por lo que, en esta obra, se publican los resultados de la investigación sobre rendimiento físico del militar colombiano, con el fin de que la comunidad académica cuente con descripciones de las variables que forman parte del *fitness* físico de esta población. Se trata del primer intento de caracterizar —con la mejor evidencia disponible y tecnología de punta— sus capacidades físicas, fisiológicas y biomecánicas.

Cabe mencionar que el personal militar debe asumir actividades físicas demandantes, bien sea durante el entrenamiento táctico y físico, en guarni-

ciones militares o en zonas de operaciones en diferentes áreas de Colombia. Dentro de estas actividades se pueden enumerar las siguientes: cargar pesados equipos de campaña (con objetos personales, víveres, municiones y armamento de dotación) largas distancias en terrenos agrestes y ejecutar tareas militares comunes, como trotar, realizar carreras de velocidad, cavar y sortear obstáculos. La velocidad y la destreza con la que el soldado realice estas actividades pueden incidir en su efectividad en el combate y en definitiva, en su supervivencia. Por esta razón, describir, evaluar y actualizar los mejores programas de entrenamiento dirigidos al personal militar durante su permanencia como miembro activo en el Ejército son objetivos de investigación importantes que ayudan a la institución a prepararlo de manera efectiva y eficaz en el desarrollo de las actividades inherentes al quehacer militar en tiempo, modo y lugar. Sobre todo, si se tiene en cuenta que en las operaciones militares el personal militar realiza tareas específicas y que los diferentes ambientes de los teatros de operaciones a los que se expone son considerados factores estresores por diferentes causas, como pueden ser el déficit calórico, la privación del sueño, alteraciones del estado de ánimo y la actividad física continua, los cuales pueden generar casos de fatiga.

Asimismo, el desarrollo de las operaciones militares exige al soldado altos niveles de capacidad aeróbica y fuerza muscular, por lo cual se considera que tener un estado físico óptimo (entendido como resistencia aeróbica, resistencia muscular, fuerza, flexibilidad y composición corporal) y, en general, un adecuado acondicionamiento físico, son factores importantes en el desempeño operacional y en la prevención de diferentes tipos de lesiones osteomusculares. Por tal motivo, *Caracterización del fitness del militar colombiano* aborda en sus ocho capítulos diferentes resultados de investigación que contribuyen desde la ciencia a la evaluación del acondicionamiento físico del militar colombiano. El orden de presentación y los temas estudiados se presentan a continuación.

En el primer capítulo se evalúa el uso del Índice de Masa Corporal (IMC) como mecanismo de clivaje y diagnóstico de sobrepeso y obesidad en el personal militar. El objetivo de las investigadoras es correlacionar el IMC

como prueba diagnóstica con diferentes herramientas, como la determinación de la composición corporal por bioimpedancia. En el segundo capítulo, el autor determina los cambios en la composición corporal de los alumnos que participan en el Curso Avanzado de Combate (CAC) y propone algunas inferencias sobre cómo suceden, ya que pueden afectar el rendimiento físico de los soldados. En el tercer capítulo se hace un estudio comparativo entre la composición corporal de los alumnos de las tres escuelas de formación del Ejército Nacional (Esmic, Emsub y Espro) y se correlacionan los resultados con la intensidad y la frecuencia de los tiempos de entrenamiento. En el cuarto capítulo se establecen las correlaciones entre dos de las variables más importantes (véase el índice) para determinar los consumos de oxígeno mediante pruebas de ergoespirometría en una población de alumnos deportistas de la Esmic, quienes además de su preparación inherente a la actividad militar son deportistas entrenados para los Juegos Interescuelas de las instituciones de las Fuerzas Militares de Colombia. Por su parte, los autores del capítulo cinco describen los patrones ventilatorios de un grupo de militares entrenados de la Agrupación de Fuerzas Especiales Antiterroristas Urbanas, para lo cual estudiaron durante dos años consecutivos el consumo de oxígeno de miembros de esta unidad élite del Ejército Nacional. Posteriormente, el capítulo sexto caracteriza uno de los componentes más olvidados, pero no menos importantes, del *entrenamiento* físico del militar: la flexibilidad. Los investigadores realizaron un estudio correlacional entre tres diferentes pruebas para evaluar la flexibilidad en los pentatletas de la liga de pentatlón militar de la Federación Colombiana Deportiva Militar (Fecodemil). Específicamente, sus hallazgos se fundamentan en la prueba de «Sit and Reach», la prueba de Schober y la prueba pasiva de elevación de la pierna recta. El penúltimo parámetro en la evaluación del *fitness* militar se aborda en el séptimo capítulo: la potencia y fuerza explosiva de miembros inferiores. Los investigadores aplicaron la prueba de «Squat Jump» para caracterizar estos aspectos en una población de cadetes de la Escuela Militar y determinar variables importantes implicadas en el desarrollo de lesiones en miembros inferiores, como sucede con las asimetrías en las fases del salto. Finalmente, en el capítulo

octavo se analiza el síndrome de estrés tibial medial, una de las condiciones clínicas que más aquejan al militar en formación, en relación con las asimetrías en el gesto del salto, consideradas como factor de riesgo.

Estos ocho capítulos presentan trabajos originales que no solo describen y caracterizan cada uno de los componentes del *fitness* en diferentes grupos de población militar, sino que además permiten crear con rigor científico una línea de base para las variables asociadas con el rendimiento físico militar. Es importante señalar, sin embargo, que con el propósito de determinar mejor las variables de la actividad física castrense se hace necesario a largo plazo continuar y ampliar las investigaciones de esta obra, de tal manera que se caracterice la mayoría de la población militar en todos los rangos y años de servicio. En este sentido, este libro refleja los esfuerzos de las escuelas de formación del Ejército para mantener y mejorar el acondicionamiento físico y psicológico del militar colombiano.

# Índice de masa corporal en militares y otros indicadores antropométricos

1

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.01>

Maritza Gómez Leguizamón<sup>1</sup>

Mercedes Mora Plazas<sup>2</sup>

## Resumen

**Objetivo:** establecer la pertinencia del Índice de Masa Corporal (IMC) como estimador de adiposidad (sobrepeso y obesidad) en población militar y su relación con otros indicadores antropométricos. **Materiales y métodos:** se realizó un estudio transversal con 137 militares en formación, pertenecientes a diferentes escuelas del Ejército Nacional de Colombia. Se recolectó información sociodemográfica como edad, sexo, escuela del Ejército a la que pertenecían los participantes y se realizó una evaluación antropométrica que incluyó medición de talla, peso y circunferencia de cintura. También se evaluó la composición corporal por medio de bioimpedancia eléctrica (Seca BmCA 550) y se realizó una descripción de la prevalencia de sobrepeso y obesidad. Se definieron coeficientes de correlación y se estableció la concordancia diagnóstica usando el índice Kappa de Cohen, la sensibilidad y especificidad del IMC frente a indicadores considerados como *gold estándar* de la composición corporal como el Porcentaje de Grasa Corporal (%GC) y el Índice de Masa Grasa (IMG). **Resultados:** la correlación entre el IMC y el %GC fue positiva ( $r = 0,750$ ,  $p = 0,000$ ) y superior con el IMG ( $0,836$ ,  $p = 0,000$ ). Por su parte, la correlación entre el IMC y la Masa Libre de Grasa (MLG) fue positiva débil ( $0,375$ ,  $p = 0,000$ ); el Índice de Cintura-Altura (ICA) mostró la mejor correlación con %GC e IMG. La concordancia del IMC con el %GC ( $r = 0,750$ ,  $p = 0,000$ ) y el IMG ( $0,836$ ,  $p=0,000$ ) fue positiva. **Conclusiones:** si bien el IMC presentó una buena concordancia con el %GC y el IMG, sobreestimó la prevalencia de sobrepeso

---

1 Grupo de Investigación Renfamil, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Nutricionista Dietista. Msc. Nutrición Deportiva y Clínica. Antropometrista nivel 1 ISAK. Contacto: [leidy.gomez@esmic.edu.co](mailto:leidy.gomez@esmic.edu.co). <https://orcid.org/0000-0001-6007-0420>

2 Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Msc. Nutrición Humana y Msc. Fisiología. Antropometrista Nivel 3 ISAK. Contacto: [mmorap@unal.edu.co](mailto:mmorap@unal.edu.co). <https://orcid.org/0000-0001-5396-8726>

y, en menor proporción, subestimó la prevalencia de obesidad con una alta sensibilidad, pero con baja especificidad para el diagnóstico de sobrepeso, así como con una alta especificidad y sensibilidad para la obesidad. Aunque el IMC muestra una correlación positiva con indicadores de adiposidad, no puede considerarse el indicador adecuado para el diagnóstico de sobrepeso y obesidad en población militar, ya que presenta falsos positivos para sobrepeso y falsos negativos para obesidad. El IMG es el indicador que mejor predice la adiposidad corporal, junto con el ICA. Se debe considerar el uso del Índice de Masa Libre de Magra (FFMI, por su sigla en inglés) como parámetro para la medición de este componente corporal, así como usar en futuras investigaciones el método antropométrico con fraccionamiento por cinco componentes, el cual tiene un valor predictivo de la composición corporal superior en población físicamente activa.

**Palabras clave:** índice de masa corporal, porcentaje de grasa corporal, índice de masa grasa, indicadores de adiposidad, bioimpedancia eléctrica, antropometría, composición corporal.

## Introducción

Durante su periodo de formación, el personal militar está sometido a múltiples actividades y esfuerzos físicos relacionados con su desempeño cotidiano, así como con sus rutinas de entrenamiento y cursos de combate. Estas actividades exigen que el militar mantenga un buen estado físico y una adecuada composición corporal, aspecto que está íntimamente relacionado con un mejor rendimiento físico (1). Así mismo, de acuerdo con el primer Programa de Fomento del Ejercicio y Hábitos Alimentarios Saludables del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el mantenimiento de una adecuada composición corporal no solo forma parte integral de la condición física, sino que además tiene un papel importante en la apariencia militar profesional, además de que es un buen indicador de la salud general y el bienestar del personal militar (2).

Particularmente, en el contexto militar colombiano la evaluación de las condiciones físicas toma como referencia el Índice de Masa Corporal (IMC) para clasificar el sobrepeso y la obesidad (3). Sin embargo, probablemente el uso del IMC como único indicador de estas condiciones no sea adecuado porque el entrenamiento físico de los militares genera alto desarrollo de la

masa magra (MM), de tal manera que pueden existir casos en los que la evaluación reporta un alto IMC (sobrepeso u obesidad), cuando en realidad se trata de una alta MM, lo que se considera un falso positivo. También hay casos en los que reporta normalidad según el IMC, pero un análisis más detallado evidencia que la persona tiene una alta masa grasa (MG) en su composición corporal, lo cual se considera un falso negativo. Por esta razón surge la importancia de definir variables que faciliten la identificación del IMC por alta MM o por alta MG, así como de emplear métodos validados de fácil acceso y uso como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría.

El propósito de este estudio es establecer la pertinencia de uso del IMC como único indicador del estado nutricional en población militar en formación. La investigación busca evaluar la utilización de otros indicadores adicionales que permitan diferenciar militares con alta masa magra o alta masa grasa, correlacionando el IMC con variables como el porcentaje de grasa, el Índice de Masa Grasa, el Índice de Masa Magra, el perímetro de la cintura y el Índice de Cintura / Altura.

## **El IMC como indicador del sobrepeso y obesidad en población militar**

El Índice de Masa Corporal fue diseñado en 1832 por Adolphe Quetelet (4) y corresponde a un indicador global del estado nutricional que establece una relación entre peso (kg) y el cuadrado de la estatura (m) ( $IMC = \text{peso kg} / \text{m}^2$ ). Se trata de una herramienta económica, simple y rápida, ampliamente usada para determinar sobrepeso y obesidad, que tiene los siguientes puntos de corte según la Organización Mundial de la Salud (OMS): normal 18,5 kg / m<sup>2</sup> a 24,9 kg / m<sup>2</sup>; sobrepeso 25 kg / m<sup>2</sup> a 29,9 kg / m<sup>2</sup>, y obesidad > 30 kg / m<sup>2</sup> (4). Según este mismo organismo, el sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud. En el año 2016, el 39 % de las personas mayores de 18 años en el mundo presentaron sobrepeso y el 13 % obesidad (4). En Colombia, de acuerdo con cifras reportadas por la Encuesta Nacional de Alimentación

y Nutrición (Ensin) 2015, el 56,4 % de la población adulta (18 a 64 años) presenta exceso de peso (37,7 % sobrepeso y 18,7 % obesidad), siendo mayor en mujeres (59,6 %) que en hombres (52,7 %) (5). Este panorama parece no ser ajeno al personal militar en el mundo y en Latinoamérica (6-8).

En el contexto colombiano, por ejemplo, en un estudio realizado se identificó que de acuerdo con el IMC el 68,9 % y 8,7 % presentaban sobrepeso y obesidad, respectivamente (9). Otro estudio realizado en la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, que evaluó el estado nutricional de 72 cadetes antes de un Curso Avanzado de Combate, encontró que el 23 % y 4,1 % de la población presentó un IMC correspondiente a sobrepeso y obesidad, respectivamente (10).

Como se observa, el IMC es la herramienta diagnóstica de mayor uso para definir sobrepeso y obesidad, como exceso de masa grasa. Sin embargo, esta medición no establece diferencia entre masa grasa y masa magra, la cual presenta una amplia variación de acuerdo con el género, la edad, la raza, el nivel de actividad física, entre otros aspectos (11, 12).

En este sentido, diferentes estudios han concluido que el uso del IMC por sí solo no es adecuado para evaluar la composición corporal porque reporta resultados de casos falsos negativos o falsos positivos al evaluar la adiposidad corporal (13, 14). De acuerdo con la investigación de Carrasco (15), comparado con el Porcentaje de Grasa Corporal (%GC), el IMC sobreestimó el sobrepeso en el 19 % de los hombres evaluados, al tiempo que subestimó la obesidad en el 23 %.

Ante esta evidencia surge la pregunta sobre la pertinencia de la medición del IMC como único estimador del sobrepeso y la obesidad en la población militar, considerando que se trata de una población físicamente activa. Un estudio realizado en el ámbito militar en población chilena reportó que el IMC sobreestimó el sobrepeso en el 23 % comparado con %GC, pero estimó de manera adecuada la obesidad (16). De igual manera, una investigación realizada en militares mexicanos encontró que una parte de los individuos que según el IMC habían sido clasificados en sobrepeso eran normales según el Índice de Masa Grasa (17). Por su parte, de acuerdo con Mullie P,

et al., en población militar americana el IMC entre 25 y 27 tiene una fuerte correlación con aumento de la masa libre de grasa principalmente (18, 19).

## Otros indicadores antropométricos

A continuación, se presentan otros indicadores antropométricos que permiten determinar la condición nutricional de una persona.

*Circunferencia Abdominal (CA)*: es uno de los más usados junto al IMC para evaluar la adiposidad corporal. Es un indicador de distribución regional de la grasa y es considerado la medida antropométrica por excelencia para diagnosticar obesidad abdominal, riesgo cardiovascular y síndrome metabólico (20, 21) por su asociación con los depósitos de grasa visceral o ectópica. Asimismo, parece ser mejor predictor de adiposidad que el IMC en población joven, de acuerdo con un estudio realizado en población universitaria chilena (22). También se destaca el uso de la circunferencia abdominal, dentro de los estándares de composición corporal de la Armada de los Estados Unidos (la cual estableció su propia fórmula para determinar el %GC), otros investigadores consideran la CA como una de las variables para determinar el sobrepeso y la obesidad (23, 24).

Existen diferentes puntos de corte de la CA para clasificar obesidad abdominal. De acuerdo con la OMS, una circunferencia mayor a 94 cm en hombres y 80 cm en mujeres se clasifica como preobesidad o riesgo cardiovascular aumentado, mientras que una CA superior a 102 cm en hombres y 88 cm en mujeres representa obesidad abdominal y muy alto riesgo de comorbilidad (20). Por su parte, el consenso realizado en 2013 *Harmonizing the Metabolic Syndrome*, adoptó para población latinoamericana valores de 90 cm para hombres y 80 cm para mujeres (25).

*Índice Cintura-Altura (ICA)*: corresponde al valor de CA corregido por la estatura, lo cual le ha dado fuerza predictiva por su asociación con riesgo cardiometabólico (26), con valores superiores a 0,51. Así, y de acuerdo con resultados publicados en el *American Journal Clinical Nutrition* por Flegan et al. en 2009, el ICA resultó un mejor predictor de adiposidad que el IMC y la CA por sí sola (27).

*Porcentaje de Grasa Corporal (%GC)*: el consenso de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición (Seedo) define como normal un %GC de entre 12 a 20 % para hombres y 20 a 30 % para mujeres respectivamente en función de los depósitos de grasa corporal. Asimismo, considera límite o sobrepeso 21 a 25 % en hombres y 30 a 33 % en mujeres, en tanto que para la obesidad reporta > 25 % en hombres y > 33 % en mujeres (28). En la tabla 1 se pueden apreciar los rangos de porcentaje de grasa asociados al IMC para el género masculino de acuerdo con la edad (29).

**Tabla 1.** Porcentaje de grasa para hombres según edad e Índice de Masa Corporal

| Edad       | Bajo | Normal | Alto                                      | Muy alto                                           |
|------------|------|--------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|            |      |        | Sobrepeso<br>IMC > 25 kg / m <sup>2</sup> | Obesidad Sobrepeso<br>IMC > 25 kg / m <sup>2</sup> |
| 20-39 años | < 8  | < 19,9 | > 20                                      | > 25                                               |
| 40-59 años | < 11 | < 21,9 | > 22                                      | > 28                                               |
| 60-79 años | < 13 | < 24,9 | > 25                                      | > 30                                               |

Fuente: Gallagher et al. (29).

*Índice de Masa Grasa (IMG)*: corresponde a la grasa absoluta corregida por la estatura (grasa kg / m<sup>2</sup>), para el cual no existe un consenso de puntos de corte. De acuerdo con Peine et. al. (30), se consideran *normales* valores inferiores a 5,60 kg / m<sup>2</sup> en hombres y 7,90 kg / m<sup>2</sup> en mujeres, *sobrepeso* entre > 5,61 kg / m<sup>2</sup> a 7,08 para hombres y > 7,91 a 10,30 para mujeres. Para la obesidad da las cifras de > 7,090 kg / m<sup>2</sup> en hombres y 10,31 kg / m<sup>2</sup> en mujeres (30). En otra investigación, un IMG superior a 5,4 kg / m<sup>2</sup> en hombres y 7,80 kg / m<sup>2</sup> en mujeres se correlacionaba con sobrepeso y obesidad (31).

*Índice de Masa Libre de Grasa (IMLG o FFMI, por su sigla en inglés)*: corresponde a la Masa Libre de Grasa (MLG) corregida por la estatura (FFMI = MLG (kg) / m<sup>2</sup>), usado para clasificar individuos con similar composición corporal, pero con diferencia en talla. El IMC clasifica erró-

neamente a individuos que presentan un exceso de peso a expensas de la masa muscular, y se sugiere que puede ser el caso de un porcentaje de la población militar. Por esto, el FFMI es de especial utilidad en casos de individuos con baja talla y buen desarrollo muscular que el IMC clasifica en sobrepeso y obesidad (32).

## Metodología

Se realizó un estudio observacional de corte transversal. Los datos incluidos dentro de este trabajo provienen de estudiantes activos de las diferentes escuelas de formación militar, como son la Escuela Militar de Suboficiales (Emsub), la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) y la Escuela de Soldados Profesionales (Espro). Los datos fueron tomados en las instalaciones de cada una de las escuelas ubicadas en Bogotá y Melgar (Cundinamarca) durante el mes de agosto del año 2018. El total de la muestra correspondió a 137 individuos de género masculino entre los 19 y 31 años de edad. Fueron convocados todos los estudiantes de último nivel de cada una de las escuelas que estuvieran disponibles para el día de la recolección de datos. Los criterios de exclusión para este estudio fueron pertenecer al sexo femenino, no completar todas las variables de medición, no haber cumplido con las recomendaciones de preparación para la prueba de bioimpedancia eléctrica (presentarse en estado de ayuno, no haber realizado actividad física en las doce horas previas, mantener un adecuado estado de hidratación) no firmar el consentimiento informado y tener amputaciones.

Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada uno de los participantes y el Comité de Ética del Departamento de Investigación, Tecnología y Desarrollo de la Esmic aprobó la intervención siguiendo las normas de la Declaración de Helsinki y la normativa legal vigente en Colombia que regula la investigación en humanos (Resolución 008439 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia).

## *Variables de medición*

Se midió estatura, peso y circunferencia de cintura, las cuales fueron registradas por una antropometrista certificada nivel uno de la International Society for Advancement in Kinanthropometry (ISAK), empleando los siguientes instrumentos de medición: la estatura se midió con un estadiómetro portátil (Seca 206°; Hamburgo Alemania) (rango 0-220 cm) de 1 mm de precisión. Para el peso se utilizó una báscula electrónica de piso (200 kg), marca Seca 813, con precisión de 100 gr. La circunferencia de la cintura se midió con una cinta métrica en acero inextensible flexible, marca Lufkin modelo W606PM. La circunferencia de la cintura fue tomada en el punto medio entre el borde inferior de la última costilla y el borde superior de la cresta iliaca.

Para establecer variables como Porcentaje de Grasa, Índice de Masa Grasa, Índice de Masa Muscular y Masa Libre de Grasa se evaluó la composición corporal mediante bioimpedancia eléctrica tetrapolar con el equipo Medical Body Composition Analyzer Seca mBCA 525, siguiendo las recomendaciones del fabricante (no haber consumido comida o bebidas cuatro horas antes de la prueba; no haber realizado ejercicios las doce horas antes del examen; haber orinado treinta minutos antes y no haber ingerido alcohol veinticuatro horas antes). Las valoraciones se realizaron en camilla, posición supina con brazos y piernas ligeramente separados de la línea media.

El Índice Cintura-Altura fue determinado dividiendo la medida de la cintura (cm) por la altura (cm), teniendo como referencia para la discriminación de la obesidad abdominal y riesgo cardiovascular un valor de  $\geq 0,51$  (33). Asimismo, para determinar el nivel de adiposidad corporal se tuvieron en cuenta los criterios Seedo 2000 y 2007 descritos anteriormente (28). Para el Índice de Masa Grasa se tuvieron en cuenta los siguientes puntos de corte: normal  $< 5,60 \text{ kg} / \text{m}^2$ , sobrepeso  $< 7,08 \text{ kg} / \text{m}^2$  y  $> 7,09$ , para obesidad (30). Finalmente, para el Índice de Masa Libre de Grasa se consideró normal entre Percentil 25 y Percentil 75 (18 a  $19,8 \text{ kg} / \text{m}^2$ ) y alta  $>$  percentil 90  $> 19,9 \text{ kg} / \text{m}^2$  (35). La tabla 2 sintetiza las variables y los valores tomados como puntos de corte en la investigación.

**Tabla 2.** Variables y puntos de corte

| Variable                      | Referencia                                     | Punto de corte                                             | Interpretación                                      |
|-------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Índice de Masa Corporal (IMC) | OMS (4)                                        | 18,5 kg / m <sup>2</sup> a 24,9 kg / m <sup>2</sup>        | Normal                                              |
|                               |                                                | 25 kg / m <sup>2</sup> a 29,9 kg / m <sup>2</sup>          | Sobrepeso                                           |
|                               |                                                | >30 kg / m <sup>2</sup>                                    | Obesidad                                            |
| Índice Cintura-Altura         | Sánchez et al. (33)                            | ≥ 0,51                                                     | Obesidad abdominal y riesgo cardiovascular moderado |
| Circunferencia Abdominal      | <i>Harmonizing the Metabolic Syndrome</i> (25) | > 90 cm                                                    | Preobesidad y riesgo cardiometabólico               |
| Índice de Masa Grasa          | Peine et. al. (30)                             | < 5,60 kg / m <sup>2</sup>                                 | Normal                                              |
|                               |                                                | >5,61 kg / m <sup>2</sup> y < 7,08 kg / m <sup>2</sup>     | Sobrepeso                                           |
|                               |                                                | > 7,09 kg / m <sup>2</sup>                                 | Obesidad                                            |
| Índice de Masa Libre de Grasa | Schutz, Kyle y Pichard (35)                    | <i>p</i> 25 y <i>p</i> 75 (18 a 19,8 kg / m <sup>2</sup> ) | Normal                                              |
|                               |                                                | > <i>p</i> 90 > 19,5 kg / m <sup>2</sup>                   | Alta                                                |
| Porcentaje de Grasa Corporal  | Seedo 2000 y 2007 (28)                         | 12-20 %                                                    | Normal                                              |
|                               |                                                | 21-25 %                                                    | Sobrepeso                                           |
|                               |                                                | > 25 %                                                     | Obesidad                                            |

Fuente: Original de las autoras.

Para el análisis de la información se empleó analítica descriptiva. Con el fin de establecer la media y desviaciones estándar, valores mínimos y máximos, se usó el paquete estadístico SPSS 25, además se aplicaron pruebas de normalidad por test de Kolmogorov-Smirnov para establecer la normalidad de los datos. Se utilizó test de correlación de Spearman para datos no paramétricos y se estableció la concordancia diagnóstica entre IMC y %GC, por una parte, y entre IMC y el IMG usando el índice Kappa de Cohen. Finalmente, se calculó la sensibilidad y especificidad del IMC frente al %GC y el IMG tomadas como el referente *gold estándar*.

Los posibles sesgos asociados a esta investigación están relacionados principalmente con el cumplimiento del protocolo para evaluación por bioimpedancia eléctrica, como por ejemplo el hecho de que era muy difícil garantizar que los participantes hubieran cumplido cabalmente con las recomendaciones.

## Resultados

Se analizaron los resultados de 137 individuos del género masculino pertenecientes a las escuelas de formación del Ejército Nacional de Colombia. La distribución por escuela fue la siguiente: Esmic 32,8 % (n = 45), Emsub 34,3% (n = 47) y Espro 32,8% (n = 45). El promedio de edad de la población fue de 22 +/- 1,8 años, con un peso promedio de 66,5 kg +/- 8,04 kg y con valores mínimos de 46,7 kg y máximos de 90,5 kg. El promedio de IMC fue de 23,3 +/- 2,22 kg/ m<sup>2</sup>. El resumen de los demás datos descriptivos para las variables antropométricas analizadas se muestra en la tabla 3.

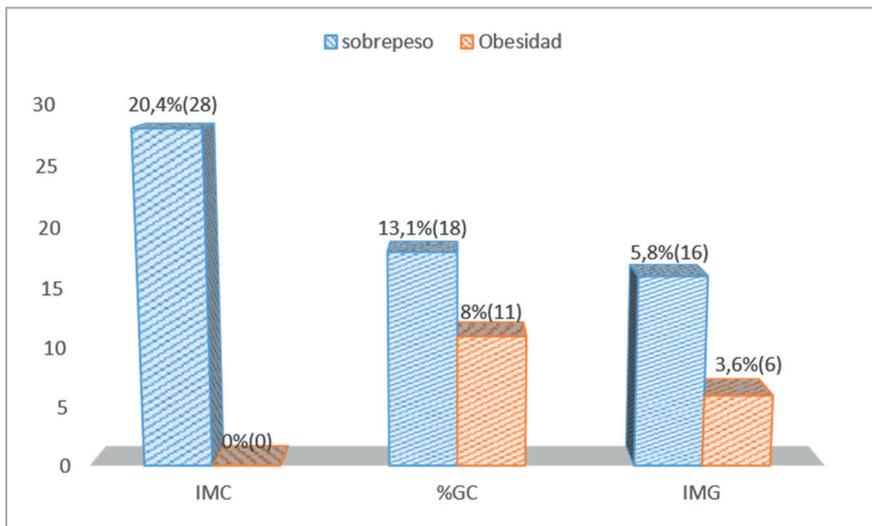
**Tabla 3.** Descriptivos de variables antropométricas en personal en formación de tres escuelas de las Fuerzas Militares de Colombia

|                 | n   | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | Percentiles |      |      |
|-----------------|-----|-------|---------------------|--------|--------|-------------|------|------|
|                 |     |       |                     |        |        | 25          | 50   | 75   |
| Peso            |     | 66,5  | 8,04                | 46,7   | 90,5   | 60,75       | 65,8 | 71,5 |
| <b>Talla</b>    |     | 1,69  | 0,07                | 1,54   | 1,84   | 1,64        | 1,68 | 1,74 |
| <b>IMC*</b>     |     | 23,3  | 2,22                | 18,8   | 29,4   | 21,8        | 23,1 | 24,6 |
| <b>%GC**</b>    | 137 | 16,4  | 5,63                | 5,9    | 34,7   | 12,4        | 15,7 | 20,5 |
| <b>IMG***</b>   |     | 3,9   | 1,68                | 1,20   | 9,8    | 2,76        | 3,44 | 4,9  |
| <b>FFMI****</b> |     | 19,4  | 1,13                | 16,6   | 22,1   | 18,6        | 19,4 | 20,2 |
| <b>Cintura</b>  |     | 78,8  | 5,72                | 67,0   | 96,0   | 75,0        | 78,0 | 82   |
| <b>ICA*****</b> |     | 0,47  | 0,04                | 0,40   | 0,60   | 0,44        | 0,46 | 0,49 |

\* Índice de Masa Corporal. \*\* Porcentaje de Grasa Corporal. \*\*\* Índice de Masa Grasa. \*\*\*\* Índice de Masa Libre de Grasa (por su sigla en inglés). \*\*\*\*\* Índice Cintura-Altura.

Fuente: Original de las autoras.

De acuerdo con el IMC, el 79,5 % (n = 109) se encontraban normales, el 20,4 % (n = 28) con sobrepeso (n = 14) y no se reportaron casos de obesidad. Según el %GC, el 13,1 % (n = 18) se clasificaron en sobrepeso y el 8 % (n = 11) en obesidad. Por su parte, el IMG reportó 11,7 % (n = 16) de sobrepeso y 4,4 % (n = 6) de obesidad (figura 1).



**Figura 1.** Prevalencia de sobrepeso y obesidad en personal militar en formación de acuerdo con diferentes indicadores: Índice de Masa Corporal ( $\text{IMC} = \text{kg} / \text{m}^2$ ), Índice de Grasa Corporal (%GC) e Índice de Masa Grasa ( $\text{IMG} = \text{kg} / \text{m}^2$ ).

Fuente: Original de las autoras.

De la población con IMC normal, 7 individuos presentaron %GC y 2 IMG en valores de sobrepeso (falsos negativos). De los 28 individuos clasificados con sobrepeso por IMC, 7 presentaron %GC normal y 8 presentan IMG normal (falsos positivos). Asimismo, en la clasificación de obesidad el IMC no reportó ningún caso, mientras por %GC e IMG se presentaron 11 y 6 individuos, respectivamente (falsos negativos para obesidad), como se presenta en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4.** Tabla cruzada Índice de Masa Corporal (IMC), según el Porcentaje de Grasa Corporal (%GC)

|       |             |             | Porcentaje de Grasa Corporal (%GC) |           |          |        |
|-------|-------------|-------------|------------------------------------|-----------|----------|--------|
|       |             |             | Normal                             | Sobrepeso | Obesidad | Total  |
| IMC   | Normal      | Recuento    | 101                                | 7         | 1        | 109    |
|       |             | % del total | 73,7 %                             | 5,1 %     | 0,7 %    | 79,6 % |
|       | Sobrepeso   | Recuento    | 7                                  | 11        | 10       | 28     |
|       |             | % del total | 5,1 %                              | 8,0 %     | 7,3 %    | 20,4 % |
| Total | Recuento    | 108         | 18                                 | 11        | 137      |        |
|       | % del total | 78,8 %      | 13,1 %                             | 8,0 %     | 100,0 %  |        |

Fuente: Original de las autoras.

**Tabla 5.** Tabla cruzada Índice de Masa Corporal (IMC), según el Índice de Masa Grasa (IMG = kg/m<sup>2</sup>)

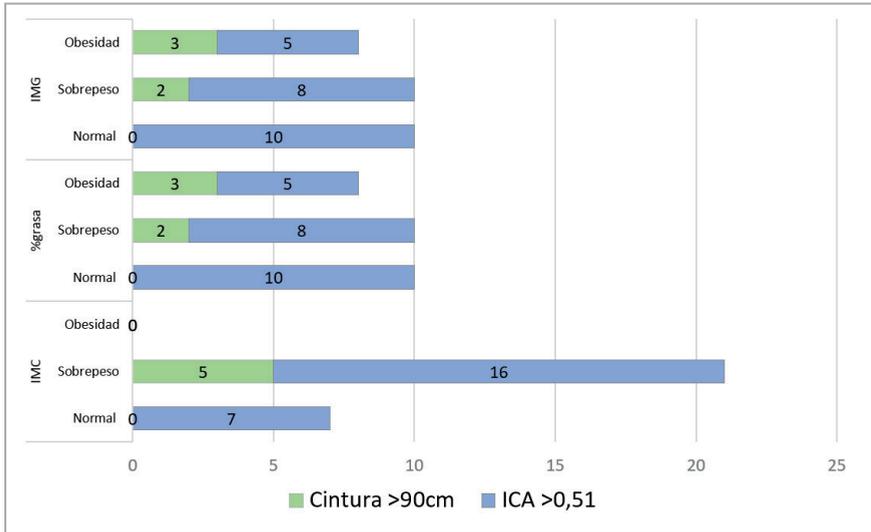
|       |             |             | Índice de Masa Grasa (IMG) |           |          |       |
|-------|-------------|-------------|----------------------------|-----------|----------|-------|
|       |             |             | Normal                     | Sobrepeso | Obesidad | Total |
| IMC   | Normal      | Recuento    | 107                        | 2         | 0        | 109   |
|       |             | % del total | 78,1%                      | 1,5%      | 0,0%     | 79,6% |
|       | Sobrepeso   | Recuento    | 8                          | 14        | 6        | 28    |
|       |             | % del total | 5,8%                       | 10,2%     | 4,4%     | 20,4% |
| Total | Recuento    | 115         | 16                         | 6         | 137      |       |
|       | % del total | 83,9%       | 11,7%                      | 4,4%      | 100,0%   |       |

Fuente: Original de las autoras.

Según el FFMI (o IMLG), el 87 % de la población presenta una reserva de masa magra (MM) normal o alta, así: el 53% (n = 73) de los individuos se encontraron dentro del percentil 25 a 75, y 34 % (n = 47) sobre el percentil 75. Del total de individuos que presentaron IMC en rangos de sobrepeso, 71% (20) también presentaron un FFMI por encima del percentil 75.

Respecto a la distribución regional de la grasa, 3,6 % (n = 5) presentaron una Circunferencia Abdominal (CA) de > 90 cm o riesgo alto, según criterios de la OMS (4). Por su parte, según el Índice de Cintura-Altura

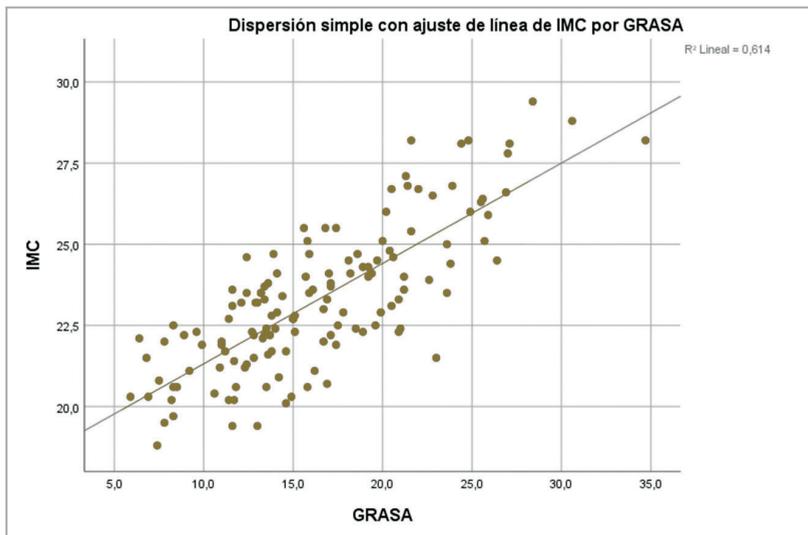
(ICA), el 16,7 % (n = 23) presentaron riesgo cardiometabólico moderado (ICA > 0,51) (figura 2).



**Figura 2.** Adiposidad abdominal medida por circunferencia de cintura y corregida por talla para cálculo del Índice de Cintura-Altura, comparado con diferentes indicadores de adiposidad como IMC, %GC e IMG.

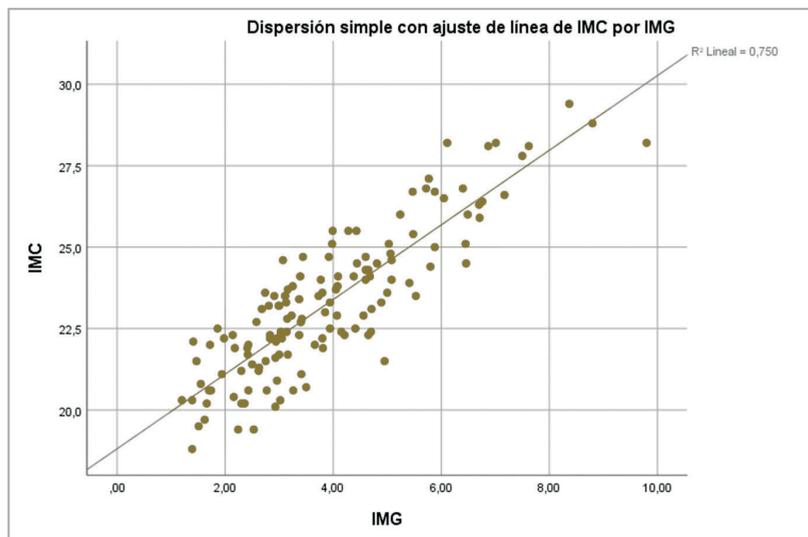
Fuente: Original de las autoras.

En esta población la correlación positiva más significativa fue entre el peso y la masa muscular (MM) y la masa de libre de grasa (MLG) ( $r = 0,851$ ,  $p = 0,00$  y  $r = 0,82$ ,  $p = 0,00$ , respectivamente), seguida por el IMC y el IMG ( $r = 0,836$ ,  $p = 0,00$ ) y el IMG con el ICA ( $r = 0,725$ ,  $p = 0,000$ ) (figuras 3 y 4). También se observó correlación positiva alta entre la talla y la MM y la MLG ( $r = 0,710$ ,  $p = 0,000$  y  $r = 0,805$ ,  $p = 0,000$ ), respectivamente. Por su parte, el ICA mostró mejor correlación con el %GC ( $r = 0,691$ ,  $p = 0,000$ ) y el IMG ( $r = 0,725$ ,  $p = 0,000$ ) que la CA ( $r = 0,650$ ,  $p = 0,000$  y  $r = 0,698$ ,  $p = 0,000$ ) (tabla 6).



**Figura 3.** Coeficiente de correlación entre el IMC y el porcentaje de grasa (CC 0,75,  $p = 0,00$ , IC 95 % 15,5-17,3 kg / m<sup>2</sup>).

Fuente: Original de las autoras.



**Figura 4.** Coeficiente de correlación entre el IMC y el IMG (CC 0,84,  $p = 0,00$ , IC 95 % 3,62-4,18 kg / m<sup>2</sup>).

Fuente: Original de las autoras.

**Tabla 6.** Coeficientes de correlación (rho) de Spearman entre las variables cuantitativas en militares en formación del Ejército de Colombiano

|                | EDAD (años)                 | PESO (kg) | TALLA (mt) | IMC (kg/mt <sup>2</sup> ) | GRASA (%) | GRASA (kg) | MM (kg) | IMG (kg/mt <sup>2</sup> ) | FFMI (kg/mt <sup>2</sup> ) | CINTURA (cm) | ICA   | MLG (kg) |
|----------------|-----------------------------|-----------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------|---------------------------|----------------------------|--------------|-------|----------|
| <b>EDAD</b>    | Coefficiente de correlación | 1,000     | 0,156      | -0,002                    | ,183      | ,201       | ,206    | 0,110                     | ,209                       | ,129         | ,187  | ,186     |
|                | Sig. (bilateral)            |           | 0,069      | 0,982                     | 0,032     | 0,018      | 0,016   | 0,199                     | 0,014                      | 0,134        | 0,029 | 0,029    |
| <b>PESO</b>    | Coefficiente de correlación | 1,000     | ,599       | ,718                      | ,441      | ,642       | ,851    | ,517                      | ,627                       | ,669         | ,275  | ,819     |
|                | Sig. (bilateral)            |           | 0,000      | 0,000                     | 0,000     | 0,000      | 0,000   | 0,000                     | 0,000                      | 0,000        | 0,001 | 0,000    |
| <b>TALLA</b>   | Coefficiente de correlación |           | 1,000      | -0,074                    | -,174     | 0,016      | ,710    | -0,162                    | 0,104                      | 0,115        | -,414 | ,805     |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            | 0,393                     | 0,042     | 0,851      | 0,000   | 0,059                     | 0,228                      | 0,182        | 0,000 | 0,000    |
| <b>IMC</b>     | Coefficiente de correlación |           |            | 1,000                     | ,750      | ,833       | ,455    | ,836                      | ,680                       | ,758         | ,713  | ,338     |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           | 0,000     | 0,000      | 0,000   | 0,000                     | 0,000                      | 0,000        | 0,000 | 0,000    |
| <b>GRASA</b>   | Coefficiente de correlación |           |            |                           | 1,000     | ,966       | 0,005   | ,988                      | 0,077                      | ,650         | ,691  | -,097    |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           | 0,000      | 0,952   | 0,000                     | 0,368                      | 0,000        | 0,000 | 0,261    |
| <b>GRASAKg</b> | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           | 1,000      | ,232    | ,979                      | ,232                       | ,733         | ,656  | 0,137    |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            | 0,006   | 0,000                     | 0,006                      | 0,000        | 0,000 | 0,111    |
| <b>MMkg</b>    | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            | 1,000   | 0,100                     | ,710                       | ,434         | 0,017 | ,960     |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         | 0,244                     | 0,000                      | 0,000        | 0,841 | 0,000    |
| <b>IMG</b>     | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            |         | 1,000                     | ,211                       | ,698         | ,725  | -,009    |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         |                           | 0,013                      | 0,000        | 0,000 | 0,920    |
| <b>FFMI</b>    | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            |         |                           | 1,000                      | ,457         | ,334  | ,651     |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         |                           |                            | 0,000        | 0,000 | 0,000    |
| <b>CINTURA</b> | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            |         |                           |                            | 1,000        | ,829  | ,340     |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         |                           |                            |              | 0,000 | 0,000    |
| <b>ICA</b>     | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            |         |                           |                            |              | 1,000 | -,119    |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         |                           |                            |              |       | 0,168    |
| <b>MLGkg</b>   | Coefficiente de correlación |           |            |                           |           |            |         |                           |                            |              |       | 1,000    |
|                | Sig. (bilateral)            |           |            |                           |           |            |         |                           |                            |              |       |          |

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). \*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Fuente: Original de las autoras.

Al evaluar la sensibilidad y especificidad del IMC como prueba diagnóstica de sobrepeso y obesidad, comparado con el %GC y el IMG como pruebas diagnósticas *gold estándar* se observó sensibilidad de 0,94 y especificidad de 0,61 para el %GC en el diagnóstico de sobrepeso. Para obesidad, la sensibilidad y la especificidad fue de 0,94 y 0,91, respectivamente. Además, el IMG (masa grasa corregida por estatura como otra prueba *gold estándar* para evaluación de adiposidad) mostró una sensibilidad de 0,90 y especificidad de 0,87 para sobrepeso, mientras que presentó sensibilidad y especificidad de 0,91 y 1,00 para obesidad, respectivamente.

El coeficiente Kappa de Cohen para calcular la concordancia diagnóstica entre el IMC y el %GC, y el IMC y IMG como predictores de sobrepeso y obesidad fue de  $k=0,41$  para IMC vs %GC, y de  $k=0,598$  para IMC vs IMG. En las tablas 4 y 5 (*supra*) se observó la presencia de falsos positivos y negativos para sobrepeso y falsos negativos para diagnóstico de obesidad al compararlos con el IMC.

## Discusión

En la directiva permanente de agosto de 2018 del Ministerio de Defensa Nacional, “Parámetros de evaluación de prueba física para el personal de oficiales y suboficiales de las fuerzas militares” (3), específicamente en el Anexo F, se relacionan los intervalos normales de peso para la estatura de acuerdo con el IMC y los puntos de corte propuestos por la OMS para diagnóstico de sobrepeso y obesidad (4). Sin embargo, a pesar de que el IMC es una herramienta de fácil uso, incurre en errores de predicción del sobrepeso y la obesidad en población militar (16, 17, 35). En esta investigación, si bien el IMC mostró una correlación significativa tanto con %GC como con IMG, también se observó que en la población estudiada el IMC frente al %GC y el ICA subestimó la prevalencia de sobrepeso en 5,1 % y 1,5 %, respectivamente, y de obesidad en el 8 % y 4,4 %, respectivamente. A su vez, sobreestimó el sobrepeso en 5,1 % y 5,8 %, comparado con el %GC y el ICA, respectivamente. Cabe destacar que los individuos clasificados con

sobrepeso según IMC y normales según %GC e ICA se encontraban en un rango de IMC entre 25 y 27, situación observada en otras investigaciones en población militar, en las cuales se sugiere que para esta población los individuos con IMC entre 25 y 27 se debe considerar la composición corporal para discriminar si el sobrepeso es a expensas de la grasa o de la masa magra (19).

Este comportamiento del IMC en la predicción del sobrepeso y la obesidad, comparado con otros indicadores de adiposidad, se confirma con los resultados reportados por Durán-Agüero (16) y Vázquez-Guzmán (17) en población militar chilena y mexicana, respectivamente. Dada esta situación, para que el IMC pueda ser usado como indicador en población militar se deben ajustar los puntos de corte, además se puede establecer el IMG como el mejor indicador de adiposidad para población militar, considerando que presentó la mayor sensibilidad y especificidad, así como el valor Kappa más alto. También se debe señalar que de acuerdo con la investigación de Peine (30) sobre la generación de rangos de normalidad para la composición corporal evaluada mediante bioimpedancia eléctrica comparada con el método de fraccionamiento en cuatro componentes y DEXA, el %GC sobreestimaba el sobrepeso y la obesidad en comparación con el IMG, situación que es similar a la observada en nuestra investigación. A su vez, se resalta la importancia del uso del ICA como indicador de adiposidad regional por su fuerte correlación con el IMG.

Asimismo, y considerando la masa libre de grasa —el otro componente importante de la composición corporal— uno de los hallazgos más importantes fue la correlación positiva alta entre el peso y la masa muscular y la masa libre de grasa, superior a la correlación entre peso y grasa absoluta. Este resultado sugiere un importante desarrollo muscular en esta población que contribuye a la presencia de IMC más elevados en presencia de niveles de grasa normales, como también identificó Bustamante, quien menciona un desarrollo muscular mayor a la media de la población en cadetes argentinos (34). Situación que no es ajena a nuestro estudio, en el cual se identificaron niveles FFMI superiores al percentil 75 de acuerdo con la tabla publicada por Schutz, Keyle y Pichard (35).

Por su parte, el índice Kappa de Cohen mostró una concordancia diagnóstica moderada del IMC y el %GC, así como entre el IMC y el IMG, similar a la reportada por Durán-Agüero (16) en población militar chilena. Esto evidencia que el IMC por sí solo no es una herramienta diagnóstica adecuada para la clasificación nutricional en población militar y que, por lo tanto, es importante incluir otros indicadores de adiposidad para evaluar a los militares en formación en el Ejército Nacional de Colombia.

Finalmente, cabe recordar que dentro de las limitaciones observadas en esta investigación se destaca la dificultad para controlar el cumplimiento cabal de los requisitos para la realización de la bioimpedancia, principalmente el estado de hidratación de la población.

## Conclusiones

Por una parte, el IMC sobreestima el sobrepeso (casos falsos positivos) y subestima la obesidad en población militar (casos falsos negativos). El Índice de Masa Corporal no es un indicador objetivo del estado nutricional de la población militar, por lo cual se recomienda que se use solamente como instrumento de tamizaje y que esté acompañado por otros indicadores como el IMG y el ICA.

Asimismo, es necesario que en futuros estudios con muestras más numerosas se establezcan puntos de corte para IMC acordes con la composición corporal de la población estudiada, considerando que no en todas las escuelas cuentan con equipos para la evaluación de la composición corporal ni tampoco con personal capacitado en técnicas antropométricas.

En síntesis, el Índice de Masa Grasa es mejor indicador de adiposidad en población militar, incluso mejor que el Porcentaje de Grasa Corporal, pues al tener en cuenta la talla, tiene menor posibilidad de sobreestimación o subestimación. Asimismo, se recomienda usar el Índice de Cintura-Altura para la predicción de obesidad abdominal. Sin embargo, estos resultados no se pueden extrapolar a población militar en ejercicio.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada gracias al financiamiento de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. No existe ningún conflicto de interés de los investigadores.

## Referencias

1. Castañeda Tovar SM, Caiaffa Bermúdez NS. Relación entre la composición corporal y el rendimiento físico en la Escuela Militar de Cadetes José María Córdova. *Revista Científica General José María Córdova* [Internet]. 2015 [citado 2019 mayo 6]; 13: 257–70. Disponible en: <https://doi.org/10.21830/19006586.26>
2. Peterson DD. History of the U.S. Navy Body Composition Program. *Mil Med* 2015; 180(1): 91–6.
3. Ministerio de Defensa Nacional. Parámetros de evaluación de prueba física para el personal de oficiales y suboficiales de las fuerzas militares. 2018.
4. Organización Mundial de la Salud (OMS). Obesidad y sobrepeso [Internet]. 2018 [citado 2019 mayo 6]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
5. Ministerio de Protección Social, Instituto Colombiano de Bienestar familiar. Encuesta Nacional de Alimentación y Nutrición (ENSIN) [Internet]. 2015. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>
6. Villatoro Villar M, Mendiola-Fernández R, Alcaraz-Castillo X, Mondragón-Ramírez GK. Correspondencia: Correlación del índice de masa corporal y el porcentaje de grasa corporal en la evaluación del sobrepeso y la obesidad. *Rev Sanid Milit Mex* [Internet]. 2015 [citada 2019 mayo 6]; 69: 568–78. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/sanmil/sm-2015/sm156i.pdf>
7. Ma, V-G, Carrera-Rodríguez, G, Durán García, AB, Gómez-Ortiz, O. Correlación del índice de masa corporal con el índice de masa grasa para diagnosticar sobrepeso y obesidad en población militar. *Rev. Sanid. Milit. Mex.* [Internet]. 2016 [citado 2019 mayo 6]; 70: 505–15. Disponible en: [www.sanidadmilitar.org.mx/articulooriginal](http://www.sanidadmilitar.org.mx/articulooriginal)
8. Teixeira CS, Érico E, Pereira F. Physical fitness, age and nutritional status of military personnel. *Arq Bras Cardiol* [Internet]. 2010 [citado 2019 mayo 6]; 94: 412–7. Disponible en: [http://www.scielo.br/pdf/abc/v94n4/en\\_aop00110.pdf](http://www.scielo.br/pdf/abc/v94n4/en_aop00110.pdf)
9. Fajardo BE, Varela MJ, Castro JJ, Daza CC, Garzon ML, Méndez GM. Caracterización del estado nutricional y la actividad física en una población de pilotos de ala fija rotativa en la ciudad de Bogotá, Colombia. *Rev. Med.* [Internet]. 2015 [citado 2019 mayo 6]; 23(1): 12–8. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v23n1/v23n1a02.pdf>

10. Cortez Fernández S, Camargo IY, Botero RD. Changes in body mass index and composition in active personnel in the Colombian Army: a case study. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova* [Internet]. 2018 [citado 2019 mayo 6]; 16: 93-106. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.297>
11. National Heart Blood Institute. Managing overweight and obesity in adults systematic evidence review from the Obesity Expert Panel [Internet]. 2013 [citado 2019 mayo 6]. Disponible en: <https://www.nhlbi.nih.gov/sites/default/files/media/docs/obesity-evidence-review.pdf>
12. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC). El índice de masa corporal para adultos [Internet]. 2018 [citado 2019 mayo 6]. Disponible en: [https://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/adult\\_bmi/index.html](https://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/adult_bmi/index.html)
13. Martín J, González G, Rosales G. Relación entre el índice de masa corporal, el porcentaje de grasa y la circunferencia de cintura en universitarios. *Investig y Cienc de la Universidad Auton Aguascalientes* [Internet]. 2015 [citado 2019 mayo 6]; 65: 26-32. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67443217004>
14. Alberto L, Guzmán C, Andrés Y, Torres M, Alejandro J. Porcentaje de grasa corporal y prevalencia de sobrepeso-obesidad en estudiantes universitarios de rendimiento deportivo de Bogotá, Colombia. *Nutr Clín Diet Hosp* [Internet]. 2016 [citado 2019 mayo 6]; 36: 68-75. Disponible: <http://revista.nutricion.org/PDF/cardozo.pdf>
15. Carrasco F, Reyes S. E, Rimler S. O, Ríos C. F. Exactitud del índice de masa corporal en la predicción de la adiposidad medida por impedanciometría bioeléctrica. *Arch Latinoam Nutr* [Internet]. 2004 [citado 2019 mayo 6]; 54: 81-6. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/127954>
16. Durán-Agüero S, Maraboli Ulloa D, Fernández Frías F, Cubillos Schmied G. Composición corporal en soldados chilenos del Regimiento Buin. *Rev. Española Nutr. Humana y Dietética* [Internet]. 2017 Apr 4 [citado 2019 mayo 6]; 21(1): 11. Disponible en: <http://renhyd.org/index.php/renhyd/article/view/268>
17. Vázquez-Guzmán M, Carrera-Rodríguez G, Durán-García A, Gómez-Ortiz O. Correlación del índice de masa corporal con el índice de masa grasa para diagnosticar sobrepeso y obesidad en población militar. *Rev. Sanid. Mili. Mex.* [Internet]. 2016 [citado 2019 mayo 6]; 70: 505-15. Disponible en: [www.sanidadmilitar.org.mx/articulooriginal](http://www.sanidadmilitar.org.mx/articulooriginal)
18. Grier T, Canham-Chervak M, Sharp M, Jones BH. Does body mass index misclassify physically active young men? PMEDR [Internet]. 2015 [citado 2019 mayo 6]; 2: 483-7. Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
19. Mullie P, Vansant G, Hulens M, Clarys P, Degraeve E. Evaluation of body fat estimated from body mass index and impedance in Belgian Male Military Candidates: comparing two methods for estimating body composition. *Mil. Med.* [Internet]. 2008 Mar 1 [citado 2019 mayo 16]; 173(3): 266-70. Disponible en: <https://academic.oup.com/milmed/article/173/3/266-270/4557706>

20. Rosales Ricardo Y. Antropometría en el diagnóstico de pacientes obesos; una revisión. *Nutr. Hosp.* [Internet]. 2012 [citado 2019 mayo 6]; 27(6): 1803–9. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n6/05revision04.pdf>
21. Heinrich KM, Jitnarin N, Suminski RR, Berkel L, Hunter CM, Alvarez L, et al. Obesity classification in military personnel: a comparison of body fat, waist circumference, and body mass index measurements. *Mil Med Int J* [Internet]. 2008 [citado 2019 mayo 6]; 173: 67-73. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/10652927.pdf>
22. Vilchez C, Cancino CA, Contreras AM, García MM, Roías O, Gómez R, et al. Evaluación de la adiposidad corporal según índice de masa corporal en jóvenes universitarios. *Cienc y Enfermería* [Internet]. 2017 May [citado 2019 mayo 6]; 23(2): 13-20. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95532017000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95532017000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
23. Navy U. Guide 4. The Body Composition Assessment (BCA) [Internet]. 2016. Disponible en: [https://www.public.navy.mil/bupers-npc/support/21st\\_Century\\_Sailor/physical/Documents/Guide 4- Body Composition Assessment \(BCA\) 2016.pdf](https://www.public.navy.mil/bupers-npc/support/21st_Century_Sailor/physical/Documents/Guide%204-Body%20Composition%20Assessment%20(BCA)%202016.pdf)
24. Peterson DD. History of the U.S. Navy Body Composition Program. *Mil. Med.* [Internet]. 2015 Jan 1 [citado 2019 mayo 6]; 180(1): 91-6. Disponible en: <https://academic.oup.com/milmed/article/180/1/91-96/4159972>
25. Alberti KGMM, Eckel RH, Grundy SM, Zimmet PZ, Cleeman JI, Donato KA, et al. Harmonizing the Metabolic Syndrome A Joint Interim Statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation* [Internet]. 2009 [citado 2019 mayo 6]; 120: 1640-5. Disponible en: <http://circ.ahajournals.org>
26. Koch E, Romero T, Manríquez L, Taylor A, Román C, Paredes M, et al. Razón cintura-estatura: Un mejor predictor antropométrico de riesgo cardiovascular y mortalidad en adultos chilenos. Nomograma diagnóstico utilizado en el Proyecto San Francisco [Internet]. 2008 [citado 2019 mayo 6]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/128451>
27. Flegal KM, Shepherd JA, Looker AC, Graubard BI, Borrud LG, Ogden CL, et al. Comparisons of percentage body fat, body mass index, waist circumference, and waist-stature ratio in adults. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2009 Feb [citado 2019 mayo 6]; 89(2): 500–8. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19116329>
28. Barbany M, Remesar X, Carrillo M, Aranceta J, García-Luna P, Alemany M, et al. Consenso SEEDO'2000 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica. *Med Clin (Barc)* [Internet]. 2000 [citado 2019 mayo 6]; 115: 587-597. Disponible en: <file:///C:/Users/juan%20XXIII/Downloads/S0025775300716320.pdf>
29. Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb SA, Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass

- index. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 2000 Sep 1 [citado 2019 diciembre 11]; 72(3): 694-701. Disponible en: <https://academic.oup.com/ajcn/article/72/3/694/4729363>
30. Peine S, Knabel S, Carrerol I, Brundert M, Wilhelm J, Ewent A, Denzer U, Jensen B, Lilburn L. Generation of normal ranges for measures of body composition in adults based on bioelectrical impedance analysis using the seca mBCA. *Int J Body Compos Res* [Internet]. 2013 [citado 2019 mayo 6]; 11:67-76. Disponible en: <https://science.seca.com/wp-content/uploads/2017/08/Generation-of-normal-ranges-for-measures-of-body-composition-in-adults-based-on-bioelectrical-impedance-analysis-using-the-seca-mBCA.pdf>
  31. Peltz G, Aguirre MT, Sanderson M, Fadden MK. The role of fat mass index in determining obesity. *Am J Hum Biol* [Internet]. 2010 [citado 2019 mayo 6]; 22(5): 639-47. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20737611>
  32. Hull H, Thornton J, Wang J, Pierson R Jr, Kaleem Z, et al. Fat-free mass index: changes and race/ethnic differences in adulthood. *Int J Obes (Lond)* [Internet]. 2011 Jan [citado 2019 mayo 6]; 35(1): 121. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20531353>
  33. Sánchez A, Muhn M, Lovera M, Ceballos B, Bonneau G, Pedrozo W, et al. Índices antropométricos predicen riesgo cardiometabólico. Estudio de cohorte prospectivo en una población de empleados de hospitales públicos. *Rev Argent Endocrinol Metab* [Internet]. 2014 [citado 2019 mayo 6]; 51(4): 185-91. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30342014000400003&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30342014000400003&lng=es)
  34. Bustamante D, Sbarra J, Yuma F, Laborda R, Mendoza J, Pereira JC, et al. Antropometría y composición corporal. Búsqueda del mejor indicador de sobrepeso en el cadete naval. *Arch Mil* [Internet]. 2011 [cited 2019 May 8];8:55-69. Available from: <http://www.ara.mil.ar/archivos/docs/06.bustamante.pdf>
  35. Schutz Y, Kyle U, Pichard C. Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98. *Int J Obes* [Internet]. 2002 [citado 2019 mayo 6]; 26: 953-60. Disponible en: [www.nature.com/ijo](http://www.nature.com/ijo)

# Cambios antropométricos en estudiantes del curso avanzado de combate en la Escuela Militar de Cadetes

2

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.02>

*Daniel Fernando Aparicio Gómez<sup>1</sup>*

## Resumen:

**Objetivo:** el objetivo del presente estudio fue determinar los cambios antropométricos del personal militar que participa de un Curso Avanzado de Combate y sus repercusiones significativas en su constitución física como indicador de la mejoría o no de la aptitud física del individuo. **Materiales y métodos:** se realizó un estudio longitudinal con 69 militares (56 hombres y 13 mujeres) en formación, pertenecientes a la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, del Ejército de Colombia. Una vez diligenciados los consentimientos informados, se realizó una evaluación antropométrica previa a la asistencia del CAC y una posterior, que incluyó medición de talla, peso, circunferencia de cintura. Asimismo, se evaluó la composición corporal por medio de bioimpedancia eléctrica (Seca 525) y se estableció mediante el uso del programa estadístico SPSS Ver. 21 el comportamiento de la normalidad de los datos. Posteriormente se estableció la significancia estadística de los datos usando el método de T de Student para datos pareados. **Resultados:** las variables de peso, Índice de Masa Corporal (IMC), masa grasa relativa (MGR), masa grasa absoluta (MGA), tejido adiposo visceral (TAV), agua extracelular (AEC) y ángulo de fase (AF) tuvieron cambios estadísticamente significativos, es decir que la carga física que impone el CAC repercute en los cambios de las variables mencionadas. Por el contrario, no se observan modificaciones estadísticamente significativas respecto a la masa libre de grasa (MLG), la masa de músculo esquelético (ME), el agua corporal total (AT) ni el perímetro de cintura (PC). **Conclusiones:** si bien la carga física que implica un CAC de ocho semanas produce cambios en todas las

---

<sup>1</sup> Msc. en Ciencias y Tecnologías del Deporte y la Actividad Física. Médico especialista en Medicina del Deporte. Médico especialista en Gerencia de la Salud Ocupacional. Grupo de Investigaciones Renfamil, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia. Contacto: [daniel.aparicio@idrd.gov.co](mailto:daniel.aparicio@idrd.gov.co) - <https://orcid.org/0000-0001-5574-7580>

variables antropométricas evaluadas por bioimpedancia eléctrica, solo algunas de ellas presentan cambios estadísticamente significativos, pero no se prueban respecto a las variables masa libre de grasa, músculo esquelético, agua total ni perímetro de cintura.

**Palabras clave:** porcentaje de grasa corporal, índice de masa grasa, indicadores de adiposidad, bioimpedancia eléctrica, antropometría, composición corporal, Índice de Masa Corporal.

## Introducción

Los alumnos de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) deben enfrentar como parte de su formación el Curso Avanzado de Combate (CAC). Se trata de un programa de instrucción y entrenamiento en el que los estudiantes de las escuelas de formación del Ejército Nacional se preparan y certifican como comandantes de unidades tácticas y terreno, para liderar escuadras y pequeñas unidades en el área técnica, táctica, humanística y física, en ambientes simulados de combate (1, 2). El CAC permite que el alumno desarrolle las competencias y habilidades necesarias para preservar su vida y la de sus superiores y subalternos, al tiempo que alcance el objetivo de la misión en una situación operativa lo más cercano a los escenarios reales. El curso tiene en cuenta dos aspectos, uno académico y otro físico, y de los resultados que alcance el cadete dependerá si puede o no ascender de rango militar, lo cual impone una cuota de gran desafío.

En lo que respecta al área de desempeño físico, durante ocho semanas el estudiante se enfrenta a situaciones que ponen a prueba las condiciones fisiológicas y físicas que ha desarrollado en los seis niveles previos al curso, tales como la fuerza, la resistencia y la velocidad, además de capacidades condicionales y la flexibilidad, el equilibrio, la agilidad y la movilidad, así como capacidades coordinativas (3). Estas capacidades, además de que no son las mismas en todos los alumnos, varían por la alta exigencia del curso, el poco tiempo para lograrlo, el ambiente climático hostil en el que se realiza, el atuendo empleado y el peso adicional que representa el equipo de campaña.

En este punto es importante mencionar que, aunque el ejercicio como tal, en poblaciones no militares, provee beneficios para la salud (4), en situa-

ciones operacionales y climáticas adversas puede generar impactos indeseados en las personas que reciben el entrenamiento, como argumenta la revisión sistemática de Gómez et al. (5) sobre varios entes militares que enfrentan cursos cortos de entrenamiento. Asimismo, se ha documentado que el ejercicio puede generar cambios en la composición corporal de los sujetos (6, 7) y en otros aspectos de la aptitud física, que no son tema de este capítulo.

Los resultados de este trabajo evidencian los efectos del CAC sobre las condiciones antropométricas de los alumnos y, por lo tanto, permiten evaluar de forma indirecta los componentes del curso. Este análisis es necesario para que a mediano o largo plazo se realicen las adecuaciones que sean necesarias al curso con el fin de que los objetivos de formación se logren sin detrimento del bienestar de los participantes.

En Colombia, al igual que en muchos otros países, tradicionalmente se han utilizado criterios antropométricos, como los índices basados en el peso, la talla y su relación, es decir, el Índice de Masa Corporal (IMC), para definir la obesidad, la desnutrición y los trastornos alimentarios. Su cálculo se realiza dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{kg} / \text{m}^2$ ).

Sin embargo, estas variables tienen poca sensibilidad para monitorear la respuesta que tiene el paciente, deportista o, en este caso, el alumno de la escuela de formación al entrenamiento que recibe, de manera que es ideal evaluar la composición corporal segmentaria porque permite cualificar este proceso. Adicionalmente, esta disposición de los diferentes compartimentos, como la grasa corporal y su distribución en el cuerpo, necesita una mayor atención en su relación con la etiología de las enfermedades cardiovasculares, la hipertensión y la diabetes tipo 2, enfermedades crónicas que tienen su “periodo de incubación” durante la niñez y la adolescencia, según la literatura más reciente (8).

El IMC proporciona la medida más rápida para determinar el sobrepeso y la obesidad en una población, y se usa de forma indiscriminada para ambos géneros y para los adultos de todas las edades. No obstante, desde el punto de vista de la medicina del deporte, la nutrición, entre otras áreas

del conocimiento, es una medida demasiado sucinta y en algunos casos aparente e inadecuada, que no permite determinar un estado nutricional del sujeto evaluado. Diversos estudios evidencian que el IMC muestra una baja confiabilidad para estimar adiposidad a nivel individual, particularmente en hombres y cuando el IMC es menor de  $30 \text{ kg/ m}^2$  (9).

Esta es la razón por la cual el Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi) de la Esmic del Ejército Nacional de Colombia se dio a la tarea de determinar los diferentes componentes de la composición corporal de un personal de cadetes militares, el efecto de su entrenamiento en el CAC y el impacto que tiene sobre su estructura. Con este propósito se usó la bioimpedanciometría eléctrica aplicando de forma exhaustiva los protocolos de su uso y su incidencia sobre los diferentes compartimentos del sujeto, antes y al final del curso.

## **Sensibilidad y especificidad de la impedancia bioeléctrica en la antropometría**

El estudio de la composición corporal es un tema de interés creciente que puede ser utilizado tanto para la investigación como para fines clínicos. Para los profesionales de las ciencias de la salud es importante conocer las características de los diferentes métodos de evaluación y análisis de la composición corporal, ya que cambios en esta guardan relación directa con la salud y el riesgo de enfermedades. Actualmente, los métodos de análisis de la composición corporal son divididos en tres grupos: el directo, los indirectos y los doblemente indirectos. El método directo es la disección de cadáveres. Entre los indirectos encontramos la tomografía axial computarizada (TAC), la resonancia magnética nuclear (RMN), la absorciometría dual de rayos X (DEXA) y la pletismografía; y en referencia a los métodos doblemente indirectos destacan la antropometría y la impedancia bioeléctrica (BIA, por su sigla en inglés) (10).

Históricamente, el estudio de la composición corporal se ha establecido más por lo que se ha logrado realizar, que por lo que se ha querido investigar,

siendo la limitante fundamental las diferentes técnicas desarrolladas (11). El método ideal para estudiar la composición corporal de un individuo debería analizar por separado todos y cada uno de los compartimentos que integran el organismo humano (masa grasa, masa ósea, masa muscular, agua, etc.); es por eso que el método más completo hasta la fecha es el análisis del cadáver. Estos estudios se realizaron entre 1945 y 1956 en los cadáveres de cinco hombres y una mujer, y aunque la diferencia entre ellos en cuanto al tejido graso era considerable, todos mostraron en relación con los tejidos libres de grasa unos valores relativamente constantes de 73 % de agua, alrededor de 20 % de proteína y cerca de 69 mmol K / kg (12). Hasta el momento, ninguno de los métodos para evaluar la composición corporal se puede hacer de manera directa en el sujeto vivo, por lo cual es necesario derivarla midiendo por separado las propiedades corporales, de ahí que en la práctica todas las técnicas presenten dos tipos de error: 1) metodológico, cuando se lleva a cabo la recolección del dato primario, y 2) en los supuestos que se asumen cuando el dato primario es convertido en el resultado final. Además, la magnitud relativa de estos errores varía entre las técnicas (13).

La impedancia bioeléctrica se presenta entonces como un método sencillo, económico, fácil de utilizar y que proporciona una mayor información en la práctica para el seguimiento y evaluación de los pacientes. Es una de las técnicas no invasivas y portátiles que se han utilizado desde hace más de una década para el análisis de la composición corporal; sin embargo, la impedancia bioeléctrica no mide la composición corporal directamente, sino que la obtiene con base en dos parámetros: la resistencia corporal y la reactancia (14, 15).

El análisis por BIA mide la resistencia o impedancia del cuerpo a una corriente eléctrica pequeña, indetectable para el sujeto. La BIA se fundamenta en el hecho de que el tejido magro contiene un alto nivel de agua y electrolitos, y por lo tanto actúa como un conductor eléctrico y la grasa como aislante (13), asumiendo que el agua corporal total es una proporción fija de la masa libre de grasa (73 %) (16). La bioimpedancia eléctrica se fundamenta en la oposición de las células, los tejidos o líquidos corporales

al paso de una corriente eléctrica generada por el aparato. La masa libre de grasa, como los músculos, huesos, etc., tiene la mayor parte de fluidos y electrolitos corporales.

Una vez que se ha obtenido el valor de la masa libre de grasa, la masa grasa se calcula a partir de la diferencia con el peso corporal total (15). De acuerdo con la declaración de la Conferencia de los Institutos Nacionales de Evaluación en Tecnología de Salud (Bethesda, Maryland, 12-14 de diciembre de 1994), en relación con la utilización del BIA en el estudio de la composición corporal, se determinó que esta técnica es más precisa que el IMC y quizá más precisa que la medición de los pliegues cutáneos para la estimación comparativa de la masa grasa (17).

De manera que este aparato proporciona una estimación directa del agua corporal total y, con base en esta información, se calcula de forma indirecta la masa libre de grasa y la masa grasa a través de fórmulas preestablecidas. La fiabilidad y precisión de este método puede variar por distintos factores, como el tipo de instrumento, puntos de colocación de los electrodos, nivel de hidratación, alimentación, ciclo menstrual, temperatura del ambiente y la ecuación de predicción utilizada; sin embargo, en general es cercana a  $r^2 = 0,84$  en comparación con la DEXA (18). Por estas razones, se deben observar algunos cuidados antes de realizar la impedancia bioeléctrica, para evitar la producción de errores, como no comer o beber cuatro horas antes de la prueba, no hacer ejercicios doce horas antes, orinar treinta minutos antes, no ingerir alcohol veinticuatro horas antes y no haber usado diuréticos en los últimos siete días (19).

La variable impedancia ( $Z$ ), medida en ohmios, es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la resistencia ( $R$ ) y la reactancia ( $X_c$ ), y es dependiente de la frecuencia. La  $R$  es la oposición pura de un conductor biológico al flujo de una corriente eléctrica alterna, mientras que la  $X_c$  es el efecto de la resistencia debido a la capacitancia —almacenamiento de carga eléctrica en un condensador—, producida por las interfaces de los tejidos y las membranas celulares. La capacitancia hace que la corriente deje atrás la tensión, de manera que se crea un cambio de fase. Este cambio se cuantifica

geométricamente como la transformación angular de la relación de la  $X_c$  a la  $R$ , o el ángulo de fase (20).

Por su parte, el ángulo de fase (AF) es el parámetro de la BIA que se ha establecido para diagnosticar la desnutrición y hacer el pronóstico clínico, ambos asociados con cambios en la integridad de la membrana celular y las alteraciones en el balance de líquido. El AF expresa cambios en la cantidad y la calidad de la masa de los tejidos blandos (es decir, permeabilidad de la membrana celular e hidratación). Una gran cantidad de ensayos clínicos proponen el AF como un marcador pronóstico útil en condiciones clínicas, como en cirrosis hepática, en cáncer de mama, colon, páncreas, pulmón; también se observó en pacientes con VIH positivos y quirúrgicos con una asociación positiva entre el AF y la supervivencia (21). Aún no se ha llegado a un consenso de sus valores normales, pero el comportamiento general del AF tiene correlación negativa con la edad, y hubo correlación positiva entre el IMC y el ángulo de fase en los sujetos con bajo peso y de peso normal.

Entre otros, algunos ejemplos de investigaciones que utilizaron este método de evaluación de la composición corporal son los estudios realizados en 2014 por Madsen et al. (22), en hombres jóvenes saludables de India, para verificar los efectos de un programa de ciclismo sobre la composición corporal de estos sujetos. Por Saladino (23) en pacientes con disturbios alimentarios, para evaluar los cambios en la composición corporal de estos durante el tratamiento. En 2015 por Camina-Martin et al. (24), en hombres mayores con y sin demencia, para comparar la antropometría y la impedancia bioeléctrica, así como para verificar la relación entre la demencia y la composición corporal. Finalmente, en el mismo año por Esco et al. (25), en atletas universitarias del sexo femenino, para evaluar la fiabilidad de este método para medir la composición corporal en los distintos segmentos corporales.

Por su parte, en 1994 Núñez et al., estudiando la composición corporal en mujeres jóvenes, reportaron la buena correlación entre el BIA y la antropometría, por lo cual propusieron esta técnica como una alternativa para medir la composición corporal en poblaciones homogéneas con un peso estable

(26). En contraste, otros autores no recomiendan el uso de esta técnica en personas obesas o muy delgadas (27). La información disponible indica que la impedancia bioeléctrica no es útil para medir los cambios agudos en la grasa corporal de los individuos, aunque sí puede caracterizar los cambios a largo plazo (17), razón por la cual algunos investigadores plantean actualmente que el valor fundamental de la BIA consiste en la vigilancia epidemiológica para estimar la masa magra (13).

Las principales ventajas de este método son que permite diferenciar la grasa y el tejido magro, monitorea la composición de la pérdida de peso; algunos modelos proporcionan un análisis segmentario, simple y fácil de ejecutar, altamente confiable para hacer estudios a gran escala; permite imprimir los resultados inmediatamente, la mayoría son equipos portátiles, no invasivos, con riesgo muy bajo, de bajo costo —comparados con otros métodos de alta tecnología—, y con un valor predictivo elevado (extensas validaciones), además presenta excelente consistencia para mediciones repetidas (27). No obstante, también presenta desventajas: no se recomienda su uso en pacientes con marcapaso; no es tan preciso como los modelos *gold standard* de cuatro compartimentos; no hay versiones disponibles para niños menores de 5 años; no se recomienda para pacientes con trastornos en el equilibrio hidroelectrolítico y en su mayoría los pacientes deben estar en condiciones de colocarse de pie sobre la plataforma en los modelos pie; tiene limitaciones de aplicación en pacientes que presentan retención de líquidos, edemas periféricos, problemas hidrostáticos o que hagan uso de medicación diurética, o con algún tipo de amputación o déficit anatómico de alguna extremidad; en deportistas no es un método adecuado porque en esta población tiene un error del 3 %, lo cual es demasiado elevado como para reportar al deportista su estado de salud. Además de esto, un ligero cambio en el lugar de los electrodos puede producir una variabilidad del 2 % de los resultados en diferentes días (27, 16).

## Metodología

Estudio de tipo longitudinal, con cadetes de séptimo nivel de la Esmic que para el segundo semestre de 2018 se encontraban seleccionados para participar en el Curso Avanzado de Combate como requisito de graduación para su año lectivo 2018. Con un universo de 120 cadetes, se hizo una selección aleatoria simple de 80 sujetos, de acuerdo con las instrucciones que se dieron al comandante de grupo de los cadetes. Al final se contó con un total de 69 sujetos sanos (13 mujeres y 56 hombres) mayores de 18 años y con una edad máxima de 24 años (57,5 % de la población total del curso), de manera que se garantizó una muestra estadísticamente representativa. Los criterios de inclusión aplicados fueron: alumnos en formación militar de séptimo nivel; hombres y mujeres sanos con edades entre 18 y 24 años que hubieran cursado y aprobado los niveles anteriores obligatorios de la Esmic. Los criterios de exclusión fueron: cadetes que no firmaron consentimiento informado; que en el transcurso del CAC fueron retirados o no completaron el curso de forma satisfactoria; los cadetes que no tuvieron las dos evaluaciones antropométricas *pre* y *post* curso o los sujetos que en el procesamiento, selección y análisis de datos presentaron valores incompletos o con fallas en la digitación. Asimismo, se aplicó el protocolo de realización de BIA, de forma exhaustiva, con las recomendaciones mencionadas en la literatura, y con el fin de evitar la mayor cantidad de sesgos, se hizo en ayunas, a primera hora del día (entre 4:30 y 6:00 de la mañana), en ambas tomas *pre* y *post* curso.

Para este estudio se realizaron las siguientes fases:

1. Identificación del personal que asistiría al CAC en el segundo semestre de 2018.
2. Sensibilización de la población, explicándole por qué y para qué realizar el estudio.
3. De manera individual se informó a los cadetes sobre los riesgos y beneficios para participar voluntariamente en el estudio.
4. Los sujetos firmaron el consentimiento informado y se incluyeron voluntariamente en el estudio.

5. Realización de antropometría por BIA antes de la salida al CAC de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, además del protocolo de aplicación.
6. Realización de antropometría por BIA posterior al CAC entre los primeros 2 y 5 días posteriores a la finalización del curso. Nuevamente, también en este proceso se tuvo en cuenta el protocolo de aplicación.

En total se evaluaron once variables (dependientes) de forma *pre* y *post* Curso Avanzado de Combate (tabla 1).

**Tabla 1.** Variables y abreviaturas

| Variables                   | Abreviatura |
|-----------------------------|-------------|
| Peso                        | Peso        |
| Índice de Masa Corporal     | IMC         |
| Masa de Grasa Relativa      | MGR         |
| Masa de Grasa Absoluta      | MGA         |
| Tejido Adiposo Visceral     | TAV         |
| Masa Libre de Grasa         | MLG         |
| Masa de Músculo Esquelético | ME          |
| Agua Corporal Total         | AT          |
| Agua Extracelular           | AEC         |
| Perímetro de Cintura        | PC          |
| Ángulo de fase              | AF          |

Fuente: Original del autor.

## Resultados

Se evaluó un total de 69 sujetos pertenecientes a la Esmic. La distribución por género fue de 13 mujeres (18,5 %) y 56 hombres (81,5%). El promedio de edad de la población en general fue de  $21,15 \pm 1,14$  años, con una talla promedio de  $1,68 \pm 0,67$  centímetros (mínima: 1,51 y máxima

1,81 cm). Las once variables antropométricas analizadas se encuentran con sus respectivos datos descriptivos en la tabla 2.

**Tabla 2.** Descriptivos de variables antropométricas del personal de cadetes de la Esmic. Valores *pre* (1) y *post* (2) Curso Avanzado de Combate (n = 69)

| Variable | Media   | Desviación típica | Error típico de la media |
|----------|---------|-------------------|--------------------------|
| Peso 1   | 66,574  | 8,8313            | 1,0632                   |
| Peso 2   | 64,323  | 7,7093            | 0,9281                   |
| IMC 1    | 23,3165 | 2,16537           | 0,26068                  |
| IMC 2    | 22,5168 | 1,80848           | 0,21772                  |
| MGR 1    | 17,9713 | 7,47749           | 0,90018                  |
| MGR 2    | 15,3980 | 6,37592           | 0,76757                  |
| MGA 1    | 12,0994 | 5,40873           | 0,65113                  |
| MGA 2    | 9,9172  | 4,13968           | 0,49836                  |
| TAV 1    | 1,4096  | 0,42321           | 0,05095                  |
| TAV 2    | 0,9961  | 0,25037           | 0,03014                  |
| MLG 1    | 54,4745 | 7,66051           | 0,92222                  |
| MLG 2    | 54,4059 | 7,42892           | 0,89434                  |
| ME 1     | 26,3086 | 4,58379           | 0,55182                  |
| ME 2     | 25,7114 | 4,09703           | 0,49322                  |
| AT 1     | 39,645  | 5,5256            | 0,6652                   |
| AT 2     | 39,646  | 5,3657            | 0,6460                   |
| AEC 1    | 15,749  | 2,0971            | 0,2525                   |
| AEC 2    | 16,070  | 2,1561            | 0,2596                   |
| PC 1     | 0,7414  | 0,04806           | 0,00579                  |
| PC 2     | 0,7410  | 0,04766           | 0,00574                  |
| AF 1     | 7,561   | 0,6411            | 0,0772                   |
| AF 2     | 7,226   | 0,6646            | 0,0800                   |

Fuente: Original del autor.

La tabla 2 muestra una diferencia de peso entre la toma *pre* CAC de  $66,57 \pm 8,8$  kg y una *post* CAC de  $64,32 \pm 7,7$  kg, con una diferencia de 2,25

kg en promedio menos posterior al curso. De igual forma, un valor de IMC *pre* CAC de  $23,32 \pm 0,26$  y un IMC *post* CAC de  $22,5 \pm 0,21$ , diferencia de 0,79 menor al final del curso.

De manera general se puede observar que se encuentra una disminución de todas las variables, con excepción de los valores de agua total y agua extracelular.

El primer paso fue determinar la normalidad de los datos aplicando las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, con un intervalo de confianza del 95 %. Una vez aplicadas las pruebas se confirmó que todas las variables analizadas en su estadístico son mayores a 0,05, por lo tanto, su distribución es normal.

De acuerdo con lo anterior se decidió utilizar el Test de la *t* de Student para una muestra relacionada, con un intervalo de confianza del 95 %, es decir un error del 5 %, en donde se parte de una Hipótesis nula  $H_0$ , en donde se determina que no hay diferencia significativa en los valores, y una hipótesis alternativa  $H_1$ , en donde pensamos que sí existe una diferencia significativa.

La interpretación permitió determinar el valor de *p*, y se rechazó la hipótesis nula  $H_0$ .

Se determinó que la Hipótesis alterna  $H_1$ , es verdadera. Se puede afirmar que las variables de Peso, IMC, MGR, MGA, TAV, AEC y AF tuvieron cambios estadísticamente significativos, es decir la carga física que impone el CAC repercute en los cambios de las variables mencionadas. Por el contrario, no se observan cambios estadísticamente significativos en lo relacionado a la MLG, ME, AT y PC.

## Discusión

Los valores que han logrado una disminución en forma significativa *post* Curso Avanzado de Combate han sido el peso, el índice de masa corporal, la masa grasa relativa y absoluta, el tejido adiposo visceral, el agua extracelular y el ángulo de fase. En general, todos estos positivos desde el punto de vista

médico, nutricional y de salud, de manera que contribuyen a disminuir el riesgo cardiovascular, y son ideales de acuerdo con los parámetros de antropometría.

Las variables en las cuales se observa un mayor cambio porcentual se refieren a la masa grasa, tanto en porcentajes como en peso total dentro del organismo. Este cambio se debe fundamentalmente al entrenamiento aeróbico que realizan los alumnos (28), el cual tiene como fuente principal de energía los lípidos, lo cual explica que las variables de peso corporal y de IMC hayan sufrido una disminución significativa, ya que se ha perdido peso por la reducción de la cantidad total de grasa corporal, pero al mismo tiempo la cantidad de agua extracelular, sin encontrar aumento de la masa muscular ni de la masa libre de grasa.

Por su parte, las variables que no presentaron cambios —la masa libre de grasa, el volumen del músculo esquelético, el agua total y el perímetro de cintura— reflejan las condiciones y objetivos más significativos del curso: la preparación técnica, táctica, psicológica y, en un menor grado, física del soldado para las operaciones militares en zonas de combate —generalmente hostiles—, con las particularidades de clima, alimentación, hidratación y condiciones psicológicas adversas. Estas son las condiciones reales que enfrenta el soldado colombiano en sus teatros de operaciones cuando ejerce su carrera luego de la graduación, de allí que el CAC busque básicamente mejorar sus condiciones de resistencia y tolerancia a este tipo de noxas y que desde el punto de vista físico su objetivo no sea lograr la ganancia de masa muscular o potencia de ningún tipo. Se debe recordar que el incremento de la masa muscular está determinado en gran medida por un predominio de la síntesis proteica sobre su destrucción (28), predominio que en el caso de deportistas que entrenan fuerza como una cualidad específica puede llegar a aumentar hasta el 3,9 % la cantidad de proteínas medidas en el posentrenamiento (29). Sin embargo, debido al tipo de entrenamiento que caracteriza el CAC y posiblemente al gran anabolismo proteico que conllevan los ejercicios de resistencia que realizan los alumnos, asociados a altas temperaturas y aportes nutricionales bajos, el aumento de la síntesis proteica puede ser supe-

rado por los procesos catabólicos que generan la acumulación de sesiones de trabajo continuo aeróbico a lo largo del curso. Como se ve, esto podría explicar que no se vean cambios en estas variables.

En relación con el ángulo de fase, se considera que una exposición aguda (ocho semanas) en sujetos sanos, sin condiciones patológicas previas no impacta los valores de forma significativa, y de igual forma no se vieron reflejados en los efectos finales.

Los resultados de este estudio indican que el contenido estructurado de entrenamiento, elaborado objetivamente y con aplicación de forma aguda, a pesar de las inclemencias del clima, la carga emocional y el estrés de las áreas de operaciones simuladas, permiten a los alumnos de este tipo de cursos presentar variaciones corporales y mejorías en la antropometría, secundarias al tipo de cargas impuestas y asociadas a los modelos nutricionales que acompañan estos procesos. Asimismo, el estudio determinó que las variaciones corporales fueron adecuadas y que de igual forma son parte fundamental de la formación y la realidad del militar en las áreas de operaciones.

Estos resultados serán muy provechosos en un futuro a corto, mediano y largo plazo, siempre y cuando se pueda tecnificar de manera más avanzada y objetiva la aplicación de las cargas en este tipo de cursos, orientados cada vez más a mejorar las condiciones antropométricas de nuestros soldados.

Finalmente, en relación con la diferenciación entre hombres y mujeres cabe señalar que es importante tener en cuenta esta variable para futuros estudios y aumentar el número de sujetos de género femenino, ya que en este caso solo participaron trece mujeres y las conclusiones con esta muestra no se podrían generalizar en la población militar femenina.

## Conclusiones

Se puede concluir que después de ocho semanas de entrenamiento, las variables de peso, Índice de Masa Corporal, masa grasa tanto relativa como absoluta, tejido adiposo visceral, agua extracelular y ángulo de fase presentaron cambios estadísticamente significativos. Es decir, se encontró

que la carga física que impone el CAC repercute en los cambios de las variables mencionadas. De igual forma, no se hallaron cambios estadísticamente significativos respecto a la masa libre de grasa, músculo esquelético, agua total y perímetro de cintura. Además de los parámetros antropométricos descritos, es necesario que en futuros estudios se analicen los aportes nutricionales e hídricos con el fin de fortalecer estas variables, si fuera necesario, así como diferenciar los impactos por género.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido soportada con recursos de la convocatoria interna en investigación del Comando de Educación y Doctrina del Ejército de Colombia, dentro del proyecto titulado “Cambios en las variables fisiológicas y biomecánicas debido al curso Avanzado de Combate (CAC)”. Agradezco a las directivas y personal integrante de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” por el apoyo en el desarrollo del proyecto de investigación. No existe ningún conflicto de interés por parte del investigador.

## Referencias

1. Ejército Nacional de Colombia. En desarrollo Curso Avanzado de Combate [Internet]; 2016 [citado 2018 febrero 21]. Disponible en: <https://www.ejercito.mil.co/?idcategoria=393662>
2. Ejército Nacional de Colombia. Curso Avanzado de Combate en la Escuela de Suboficiales del Ejército Nacional de Colombia [video en internet]; 2015 [citado 2018 febrero 21]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=LuDcH0jZ1Kw>.
3. Zuluaga J, Rincón Tabares AS, Roa Quintero MA. Trabajo de grado como requisito para el título de educador físico militar [tesis]. Bogotá, D. C.: Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”; 2017.
4. Jacoby E, Bull F, Neiman A. Cambios acelerados del estilo de vida obligan a fomentar la actividad física como prioridad en la Región de las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 2007; 14 (4): 223-225.
5. Aparicio Gómez D F, Castro Jiménez LE, García-Muñoz AI, Cubides Amézquita JR, Puentes Salazar, AM. Revisión sistemática de la repercusión fisiológica de los cursos

- militares operacionales cortos para el soldado. *Rev Cient Gen José María Córdova*. 2019 abril-junio; 17 (26), 2019, 433-451.
6. Brandão de Albuquerque Filho NJ, Mendes Rebouças G, Araújo Ferreira Matos V, de Mello Salgueiro CC, Knackfuss MI, de Medeiros HJ. Efecto del entrenamiento concurrente en la composición corporal y perfil lipídico en adolescentes con sobrepeso. *Revista de Educación Física*. 2018; 46 (1). Disponible en <https://revistadeeducacionfisica.com/articulo/efecto-del-entrenamiento-concurrente-en-la-composicion-corporal-y-perfil-lipidico-en-adolescentes-con-sobrepeso-2199-sa-258615b143d645>
  7. Cortés Fernández, Camargo IY, Botero Rosas, D. Caracterización de la composición corporal del personal militar después de realizar el Curso Avanzado de Combate en el Ejército Nacional de Colombia. *Rev Cient Gen José María Córdova*. 2018 enero-junio; 16(22), 93-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.297>
  8. Wells JCK, Fewtrell MS. Is body composition important for paediatricians? *Archives of Disease in Childhood*. 2008; 93: 168-172.
  9. Carrasco F, Reyes E, Rilmer O, Ríos F. Exactitud del Índice de Masa Corporal en la predicción de la adiposidad medida por impedanciometría bioeléctrica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2004; 54(3), 280-286.
  10. Moreira O, Alonso-Aubin DA, Patrocinio de Oliveira CE, Candia-Luján R, De Paz JA. Métodos de evaluación de la composición corporal: una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas. *Archivos de Medicina del Deporte*. 2015; 32 (6): 387-394.
  11. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation and physical activity. In *Body composition*. Champaign: Human kinetics. 2004, pp. 101-119.
  12. Garrow JS. New approaches to body composition. *Am J Clin Nutr*. 1982; 35: 1152-1158.
  13. Wells JCK, Fewtrell M. Measuring body composition. *Archives of Disease in Childhood*. 2006; 91(7): 612-617. Disponible en: <https://adc.bmj.com/content/91/7/612>
  14. Kyle UG, Boseaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AM, Prchard C. Bioelectrical impedance analysis-Part I: Review of principles and methods. *Clinical Nutrition*. 2004 octubre; 23(5), 1226-1243.
  15. Kyle UG, Boseaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, Heitmann BL, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, Schols AM, Prchard C. Bioelectrical impedance analysis - Part II: Utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004 diciembre; 23(6), 1430-1453.
  16. Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2008 septiembre; 11: 566-572.
  17. Nutrition AJoC. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. *Am J Clin*

- Nutr. 1996 septiembre; 63 (suplemento), 524S-524S. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/64.3.524S>
18. Mattsson S, Thomas BJ. Development of methods for body composition studies. *Phys Med Biol.* 2006 julio; 51: R203-28.
  19. Sant'Anna M, Priore SE, Franceschini S. Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Revista Paulista de Pediatria.* 2011; 27 (3), 315-321.
  20. Baumgartner RN, Chumela WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr.* 1988 julio; 48 (1): 16-23.
  21. Llames L, Baldomero V, Iglesias ML, Rodota LP. Valores del ángulo de fase por bioimpedancia eléctrica-Estado nutricional y valor pronóstico. *Nutrición Hospitalaria.* 2013 abril; 28 (2), 286-285. DOI: <http://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.2.6306>
  22. Madsen C, Mogensen P, Thomas N, Christensen DL, Bygbjerg IC, Mohan V, Inbakumari M, Nadig SV, Alex R, Geeranjali FS, Westgate K, Brage S, Vaag A, Grunnet LG. Effects of an outdoor bicycle-based intervention in healthy rural Indian men with normal and low birth weight. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease.* 2014 febrero; 6 (1): 27-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S2040174414000609>
  23. Saladino C. The efficacy of Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) in monitoring body composition changes during treatment of restrictive eating disorder patients. *Journal of Eating Disorders.* 2014; 42 (1): 34.
  24. Camina Martín MA, de Mateo Silleras B, Nescolarde Selva L, Barrera Ortega S, Domínguez Rodríguez L, Rendon del Río MP. Bioimpedance vector analysis and conventional bioimpedance to assess body composition in older adults with dementia. *Nutrition.* 2015 enero; 31(1), 155-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2014.06.006>.
  25. Esco MR, Snarr R, Leatherwood MD, Chamberlain NA, Redding ML, Flatt AA, Moon JR, Williford HN. Comparison of total and segmental body composition using DXA and multifrequency bioimpedance in collegiate female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2015 abril; 29 (4), 918-925. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000732>.
  26. Núñez C, Carvajal A, Turmero E, Moreiras O. Contribución al estudio de la composición corporal de un grupo de mujeres jóvenes mediante análisis de impedancia bioeléctrica. *Nutrición Hospitalaria.* 1994; 9: 262-267.
  27. Ayvaz G. Methods for Body Composition Analysis in Adults. *The Open Obesity Journal.* 2011; 3(1) 62-69.
  28. Kenney, WL, Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del deporte y el ejercicio. 5.ª ed. Bogotá: Panamericana; 2014.
  29. Cometti G. Los métodos modernos de musculación. 3.ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2001.



# Composición corporal por bioimpedancia eléctrica en estudiantes de escuelas de formación del Ejército colombiano

3

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.03>

*Jenner Cubides Amézquita*<sup>1</sup>

*Esteban Aedo-Muñoz*<sup>2</sup>

*Juan Camilo Mesa*<sup>3</sup>

*Iván Darío Chavarro Castañeda*<sup>4</sup>

## Resumen

**Objetivo:** el estudio hace una caracterización general de los parámetros bioeléctricos de la composición corporal de alumnos de último nivel de formación militar en tres escuelas de formación del Ejército Nacional de Colombia: Esmic, Emsub y Espro.

**Materiales y métodos:** se planteó un estudio observacional de tipo transversal que midió cada una de las variables de la composición corporal y comparó los resultados entre los alumnos que conformaron la muestra. Para la medición de la composición corporal se usó el método indirecto de bioimpedancia eléctrica con el equipo SECA mBCA 525 (Medical Body Composition Analyzer, Hans E. Ruth S.A, Hamburg, Germany).

**Resultados:** se encontró que las edades de los alumnos oscilaron entre los 18 a 25 años con una media de  $21 \pm 1,5$  años, con un peso promedio de  $66,3 \pm 7,9$  kg y un Índice

---

1 Médico epidemiólogo. Grupo de Investigaciones Renfamil, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia. Contacto: [jenner.cubides@esmic.edu.co](mailto:jenner.cubides@esmic.edu.co) - <https://orcid.org/0000-0001-6573-0432>

2 PhD. en Ciencias de la Motricidad Humana. Laboratorio de Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud, Universidad de Santiago de Chile, USACH, Chile. Contacto: [esteban.aedo@usach.cl](mailto:esteban.aedo@usach.cl) - <https://orcid.org/0000-0003-1544-2824>

3 Nutricionista Dietista. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Contacto: [juan.camilo.mesa.pimilla@stud.ki.se](mailto:juan.camilo.mesa.pimilla@stud.ki.se) - <https://orcid.org/0000-0002-6489-7609>

4 Oficial de Artillería del Ejército Nacional de Colombia. Director del Centro de Investigaciones de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, Colombia. Contacto: [ivan.chavarroca@buzonejercito.mil.co](mailto:ivan.chavarroca@buzonejercito.mil.co) - <https://orcid.org/0000-0001-9545-3253>

de Masa Corporal (IMC) promedio de  $23,2 \pm 2,16$  peso kg / talla<sup>2</sup>. La prevalencia de sobrepeso (IMC  $\geq 25$ ) en la muestra fue de 19,3% (n = 26), con el 80,1 % (n = 109) de los participantes con peso normal, según los criterios de la Organización Mundial de la Salud. Asimismo, IMC fue similar en los alumnos de las tres escuelas de formación: Esmic  $23,65 \pm 2,3$  kg/ m<sup>2</sup>; Emsub  $23,41 \pm 2,4$  kg/m<sup>2</sup>; Espro  $22,57 \pm 1,4$  kg / m<sup>2</sup>), el valor absoluto de masa grasa en los alumnos de la Espro evidenció un menor peso en grasa en comparación con los alumnos de la Esmic y la Emsub: Esmic  $12,16 \pm 5,04$  kg; Emsub  $11,67 \pm 4,61$  kg; Espro  $9,20 \pm 4,07$  kg). La determinación de la masa muscular esquelética tuvo diferencias de las dos escuelas con respecto a la Escuela Militar de Cadetes: Esmic  $28,52 \pm 2,79$  kg; Emsub  $25,82 \pm 2,85$  kg; Espro  $26,83 \pm 2,88$  kg). **Conclusiones:** estas diferencias en la composición corporal de los alumnos de las tres escuelas se deberían a factores como la carga, intensidad, frecuencia y duración en los tiempos de entrenamiento de cada una de las instituciones militares.

**Palabras clave:** composición corporal; impedancia eléctrica; personal militar.

## Introducción

El personal militar debe cumplir una serie de tareas específicas en los diferentes ambientes de los teatros de operaciones y que se consideran factores estresores por diferentes causas, como pueden ser el déficit calórico, la privación del sueño, alteraciones del estado ánimo y la actividad física continua, llegando hasta casos de fatiga (1). El desarrollo de las operaciones militares le exige al soldado altos niveles de capacidad aeróbica, de reserva energética, así como de fuerza muscular, de manera que un buen *fitness* (entendido como resistencia aeróbica, resistencia muscular, fuerza, flexibilidad y buena composición corporal) y en general un adecuado acondicionamiento físico son factores importantes en su desempeño y en la prevención de lesiones osteomusculares (2). No obstante que la actividad física es esencial para mejorar el acondicionamiento físico y prevenir la obesidad (3), durante las últimas décadas el *fitness* y la capacidad aeróbica han disminuido en la gente joven de los países occidentales y ha aumentado la obesidad, tanto en personal civil como militar. En Colombia, esta situación constituye actualmente un gran reto para el entrenamiento militar, sobre todo si se tiene en

cuenta que ciertas actividades físicas se han reducido debido a los desarrollos logísticos y tecnológicos (4).

De igual forma, las tasas de obesidad están en aumento en todo el mundo, a tal punto que actualmente se considera, después del consumo de cigarrillo, como una condición epidémica involucrada en el aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad por causas prevenibles relacionadas con la salud. Por esta razón, la prevención y las estrategias para controlar esta patología deben iniciar en la infancia y la adolescencia para prevenir la obesidad del adulto. Adicionalmente, se ha reportado que los adultos que fueron obesos durante la niñez tienen mayor riesgo de morbi-mortalidad, independientemente de su peso en la edad adulta (5).

Específicamente en el ámbito militar, el uso del peso y la talla como parámetros para determinar la incorporación de sujetos con problemas de desnutrición crónica o peso inadecuado para la talla ha dado un giro radical, ya que actualmente estas variables se emplean sobre todo para prevenir el sobrepeso y la obesidad del personal que se va a incorporar. Así mismo, los determinantes de la composición corporal se valoran actualmente más en función de asegurar una capacidad física aceptable y un rápido desarrollo de la fuerza a través de una adecuada nutrición y actividad física regular (6); inclusive, en algunos casos se consideran como factores predictores del rendimiento en la fuerza (7). Cabe anotar, sin embargo, aunque los índices de obesidad en militares están por debajo de los promedios de la población en general, una composición corporal inadecuada impacta negativamente los costos en los servicios de salud. Esto reafirma la necesidad de crear, fomentar e implementar políticas y programas que busquen reducir la prevalencia del sobrepeso y la obesidad (8).

En este contexto, valorar la composición corporal es un requisito indispensable para monitorear los tipos de obesidad, el estado nutricional, los objetivos del entrenamiento y, en general, el estado de salud (9). Se debe tener en cuenta que el exceso de tejido adiposo actúa como peso muerto en actividades en las cuales la masa del cuerpo debe vencer repetidamente la gravedad durante la locomoción o el salto, es decir, disminuye el rendimiento militar y deportivo e incrementa la demanda energética de la acti-

vidad. En contraste, la masa libre de grasa contribuye a la producción de energía durante actividades de alta intensidad, por lo cual mejora la fuerza absoluta y la resistencia a cargas estáticas y dinámicas (10). Por estas características, la masa grasa y la masa libre de grasa (magra) son los componentes más usados para identificar el tipo de requerimientos nutricionales y los gastos energéticos del organismo (11).

Los expertos en nutrición deportiva usan los datos obtenidos de la composición corporal para desarrollar intervenciones específicas de tipo dietario, así como para orientar a los entrenadores y preparadores físicos para optimizar y evaluar los programas de entrenamiento deportivo. De igual forma, la evaluación de la composición corporal se usa con frecuencia en los campos del entrenamiento físico militar para evaluar la efectividad de los programas de los individuos que quieren bajar de peso o comenzar un entrenamiento funcional (fuerza, resistencia, definición de la figura corporal) y/o deportivo (12). En este sentido, el control del peso corporal en los diferentes tipos de entrenamiento es uno de los problemas clave durante la actividad militar y deportiva, pues no sorprende que algunos militares y atletas tiendan a aumentar y acelerar sus rutinas de acondicionamiento físico, lo cual puede tener un efecto negativo para su salud o en su desempeño en el área de operaciones o en competencia. Por lo tanto, es importante mejorar la eficiencia tecnológica en los sistemas de entrenamiento militar y deportivo, sobre todo respecto al control de los procesos que lleven a optimizar los resultados deseados.

En los últimos años el análisis por bioimpedancia (BIA, por su sigla en inglés) está siendo usado ampliamente en la práctica médica deportiva y se están desarrollando más y mejores métodos para determinar la estructura y los componentes del cuerpo (13). La bioimpedancia tiene como principio administrar al sujeto un flujo de corriente eléctrica alterna de una o más radiofrecuencias, transmitida por un electrodo adherido a la superficie de la piel, con el fin de caracterizar los tejidos que tengan o no buena conducción, lo mismo que de los fluidos que componen el cuerpo (14), ya que los flujos de corrientes en diferentes velocidades dependen de la composición del cuerpo. Como se sabe, el agua es buena conductora de la corriente, lo mismo que los tejidos ricos en electrolitos como el músculo, mientras que

el tejido graso, óseo y los espacios corporales neumáticos son malos conductores de la corriente (15).

Con el fin de aclarar los fundamentos de la bioimpedancia, a continuación, se definen brevemente los conceptos básicos de esta técnica. En primer lugar, la impedancia ( $Z$ ) es la frecuencia dependiente de la oposición al flujo de corriente por parte del conductor (por ejemplo, el cuerpo). Geométricamente, la impedancia es el vector compuesto de dos parámetros dependientes de frecuencias (la resistencia  $R$  y la reactancia  $X_c$ ). La resistencia es la oposición al flujo de corriente cuando pasa a través del cuerpo y la reactancia es la demora en la conducción eléctrica causada por las membranas celulares, las interfaces de los tejidos y las sustancias no-iónicas. En segundo lugar, la capacitancia es una función de la reactancia, que se aumenta cuando las membranas celulares almacenan una porción de la corriente en un espacio de tiempo. Ese almacenamiento temporal de las cargas de corriente crea una desviación de la fase o ángulo de fase ( $AF$ ), cuantificada como la relación de la Arco tangente de la reactancia y la resistencia expresada en grados ( $X_c / R$ )  $\times (180^\circ / \pi)$  (15). El ángulo de fase es una medida proporcionada directamente por los equipos de bioimpedancia y se usa como un marcador de la integridad de la membrana celular y de la masa celular del cuerpo, además de ser un predictor de morbi-mortalidad de enfermedades de tipo crónicas, como pueden ser la falla renal (16), la insuficiencia cardiaca congestiva (17), patologías oncológicas (18) o desnutrición (19).

En tercer lugar, el ángulo de fase ( $AF$ ) es la relación del cálculo entre la resistencia ( $R$ ) de los tejidos al paso de la corriente (que depende del estado de hidratación) y la reactancia ( $X_c$ ) de los tejidos asociados a la celularidad, el tamaño de las células y la integridad de la membrana celular. Un ángulo de fase disminuido es consistente con muerte celular o una alteración en la selectividad de la membrana celular, mientras que valores aumentados se asocian con integridad y vitalidad de las membranas celulares y el cuerpo de masa celular. En población sana, el sexo, la edad y el Índice de Masa Corporal son los principales determinantes del ángulo de fase (20). Por su parte, en personas saludables los rangos normales del ángulo de fase oscilan entre  $5^\circ$  y  $7^\circ$ , y en atletas pueden alcanzar ángulos de fase hasta  $9,5^\circ$ . No obstante,

la información disponible, en el medio militar se encontró escasa literatura sobre el uso de la BIA para determinar la composición en ciertos grupos de formación militar y mucho menos en Colombia. Por esta razón, el presente estudio hace una caracterización general de los parámetros bioeléctricos de la composición corporal de alumnos de último nivel de formación militar en las escuelas de formación del Ejército Nacional de Colombia.

## Metodología

El diseño del estudio fue observacional, descriptivo, transversal con componente analítico, en el cual se valoró la composición corporal por BIA de 135 estudiantes de último nivel de instrucción militar de las tres escuelas de formación del Ejército Nacional. El estudio fue realizado en tres centros de formación militar colombiano: 1) Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic), Bogotá, D. C., donde se forman los oficiales del Ejército Nacional. 2) Escuela de Suboficiales Sargento Inocencio Chincá (Emsub), Melgar (Tolima). 3) Escuela de Soldados Profesionales Pedro Pascasio Martínez Rojas (Espro), Nilo (Cundinamarca). Este trabajo fue aprobado por el Comité de Ética de Ciencias Sociales y Exactas (Cecse) de la Esmic, según acta 4363 REG-AL-FOL-71/02-2018. Los sujetos del estudio participaron en una reunión antes de tomar los datos para explicarles los objetivos y la metodología de la investigación. Allí no solo tuvieron la oportunidad de obtener toda la información, sino que se les aseguró la confidencialidad de los datos con la firma de un consentimiento informado. Durante todo el estudio, los participantes permanecieron anonimizados y en los casos en que algún sujeto se retiró de la investigación no hubo repercusión en su carrera militar.

Las variables de la composición corporal fueron tomadas por una nutricionista-antropometrista categoría ISAK 1 (International Society for the Advancement of Kinanthropometry), de acuerdo con el protocolo *pretest*, donde además se especifica que los datos se deben tomar en horas de la mañana y a la misma hora para todos los grupos. Los sujetos fueron pesados en ropa interior, sin zapatos, sin que hubieran realizado ejercicio físico las veinticuatro

horas previas al análisis, sin que hubieran ingerido alimentos cuatro horas antes de la prueba, con un buen estado de hidratación, así como haber realizado su última micción treinta minutos antes de comenzar las pruebas.

Para medir la composición corporal por bioimpedancia eléctrica se usó el equipo SECA mBCA 525 (Medical Body Composition Analyzer, Hans E. Ruth S.A, Hamburg, Germany), que usa el método de medición de análisis de impedancia bioeléctrica de ocho puntos, con diecinueve frecuencias de medición que van desde 1 hasta 1.000 kHz, y con valores de medición de impedancia ( $Z$ ), resistencia ( $R$ ), reactancia ( $X_c$ ) y ángulo de fase ( $\Phi$ ). Además, el equipo tiene un área de medición de impedancia de  $10 \Omega$  a  $1.000 \Omega$  y medición de corriente de  $100 \mu A$ , lo cual permite hacer el registro multise-gmento del cuerpo y el ángulo de fase ( $0^\circ - 20^\circ$ ). La talla fue tomada usando un estadiómetro de plataforma manual (Seca 274, Hamburg, Germany). La circunferencia de cintura se midió en el punto medio entre la última costilla y la cresta iliaca usando una cinta métrica (Ohaus® -8004MA, Parsippany, NJ, USA). Los datos obtenidos fueron analizados y almacenados mediante el software Seca Analytics 115®.

## **Análisis estadístico**

Para analizar los datos se determinaron medidas de tendencia central (medias y medianas), medidas de dispersión (desviaciones estándar, error absoluto de la desviación estándar, límite superior e inferior del intervalo de confianza del 95 %). Asimismo, se valoró la normalidad de distribución de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y se realizó un análisis de varianza de un factor (Anova) con pruebas *post hoc* (Bonferroni y Games-Howell) para comparaciones múltiples, con el fin de determinar las diferencias entre las variables de composición corporal en los participantes del estudio en cada una de las escuelas de formación, teniendo en cuenta los supuestos para la realización de la prueba. También se utilizó estadística no paramétrica mediante la prueba de Kruskal Wallis en el tipo de datos que así lo requirieron y se determinó la correlación entre el IMC y las variables de composición corporal de la muestra mediante la prueba de Spearman.

Finalmente, el análisis de los datos se realizó con el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences® V.24 (SPSS 24) y Graph Pad Prism 7 para diagramar los resultados. El nivel de significancia estadística se definió por una confianza del 95 % y el valor de la probabilidad menor de  $p \leq 0.05$ .

## Resultados

La muestra estuvo conformada por 135 cadetes de sexo masculino de las tres escuelas de formación militar del Ejército Nacional de Colombia que pertenecían al último nivel de formación militar: en el caso de la Esmic, de octavo semestre; en el de la Emsub, de tercer semestre de formación militar, y en el de la Espro, posterior a los seis meses de la fase de entrenamiento militar básico. Las edades de los estudiantes oscilaron entre los 18 a 25 años ( $21 \pm 1,5$  años), con un peso de  $66,3 \pm 7,9$  kg y un Índice de Masa Corporal promedio de  $23,2 \pm 2,16$  talla<sup>2</sup> / peso, con una talla promedio de  $1,68 \pm 0,07$  m. La determinación del perímetro de cintura para el análisis de bioimpedancia arrojó  $0,786 \pm 0,056$  m. La prevalencia de sobrepeso (IMC  $\geq 25$ ) en la muestra fue de 19,3 % ( $n = 26$ ), con el 80,1 % ( $n = 109$ ) de los participantes con peso normal, según los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Una vez realizado el análisis de la composición corporal, las características antropométricas y las variables bioeléctricas establecieron que el Índice de Masa Corporal (IMC) presentó valores muy parecidos en los estudiantes de las tres escuelas de formación: Esmic,  $23,65 \pm 2,3$  kg / m<sup>2</sup>; Emsub,  $23,41 \pm 2,4$  kg / m<sup>2</sup>; Espro  $22,57 \pm 1,4$  kg / m<sup>2</sup>. Los datos obtenidos en valor absoluto de masa grasa muestran que los alumnos de la Espro tienen un volumen de grasa significativamente menor en comparación con los alumnos de la Esmic y la Emsub: Esmic,  $12,16 \pm 5,04$  kg; Emsub,  $11,67 \pm 4,61$  kg; Espro,  $9,20 \pm 4,07$  kg. En cuanto a la masa libre de grasa, se presentaron valores similares en la Esmic y la Espro, mientras que en la Emsub el valor fue significativamente menor: Esmic,  $57,68 \pm 5,31$  kg; Emsub,  $52,54 \pm 5,23$  kg; Espro,  $56,25 \pm 5,77$  kg.

La determinación de la masa muscular esquelética varió en las dos escuelas con respecto a la Esmic ( $28,52 \pm 2,79$  kg): Emsub,  $25,82 \pm 2,85$  kg y Espro,  $26,83 \pm 2,88$  kg. Esto se ve reflejado en el cálculo de las kilocalorías dadas por el gasto energético total de los individuos: Esmic,  $3138,73 \pm 247,79$  kcal; Emsub,  $3018,05 \pm 207,87$  kcal; Espro,  $3005,55 \pm 164,74$  kcal. Por último, en el análisis de los valores del ángulo de fase se evidenció que los alumnos de la Escuela de Suboficiales presentaron menor ángulo de fase en comparación con los de la Escuela de Cadetes y los de la Escuela de Soldados profesionales: Esmic,  $7,78^\circ \pm 0,52^\circ$ ; Emsub,  $7,56^\circ \pm 0,55^\circ$ ; Espro,  $7,19^\circ \pm 0,66^\circ$ . Sin embargo, cabe aclarar que estos datos están dentro de los valores normales para la población joven y activa físicamente (tabla 1).

**Tabla 1.** Variables de la composición corporal por bioimpedancia de los alumnos de las tres escuelas de formación del Ejército Nacional.

| Variable                     | Esmic   |         | Emsub   |         | Espro   |         |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                              | x*      | ds**    | x       | ds      | x       | ds      |
| Edad (años)                  | 22,58   | 1,234   | 21,38   | 1,775   | 21,24   | 1,26    |
| Peso (kg)                    | 69,846  | 8,667   | 64,220  | 7,7595  | 64,9244 | 6,0784  |
| Talla (m)                    | 1,7173  | ,06340  | 1,6553  | ,06244  | 1,6953  | ,07288  |
| IMC (kg/m <sup>2</sup> )     | 23,651  | 2,3576  | 23,411  | 2,4618  | 22,578  | 1,34137 |
| Perímetro de la Cintura (cm) | 0,8078  | 0,0613  | 0,7902  | 0,0594  | 0,7609  | 0,0346  |
| Masa Grasa (kg)              | 12,1633 | 5,04370 | 11,6736 | 4,6163  | 8,6667  | 2,5304  |
| Masa Libre de Grasa (kg)     | 57,6833 | 5,3164  | 52,5464 | 5,2335  | 56,2578 | 5,7722  |
| Músculo Esquelético (kg)     | 28,5216 | 2,7909  | 25,8207 | 2,8538  | 26,8389 | 2,8802  |
| Agua Corporal Total (kg)     | 41,8756 | 4,0355  | 38,0689 | 3,9346  | 40,8978 | 4,3203  |
| Agua Extracelular (kg)       | 16,3311 | 1,8115  | 15,1467 | 1,7238  | 16,6756 | 2,0061  |
| Gasto Energético (Kcal)      | 3138,73 | 247,791 | 3018,05 | 207,875 | 3005,55 | 164,746 |
| Gasto en Reposo (Kcal)       | 1739,83 | 130,337 | 1657,24 | 114,965 | 1669,75 | 91,526  |
| Ángulo de Fase (°)           | 7,78    | ,522    | 7,56    | ,553    | 7,19    | ,6643   |

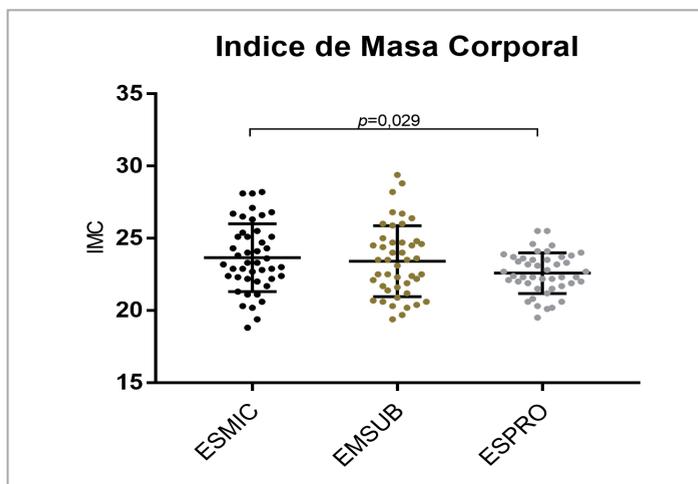
\* Media (x).

\*\* Desviaciones estándar (ds)

Fuente: Original de los autores.

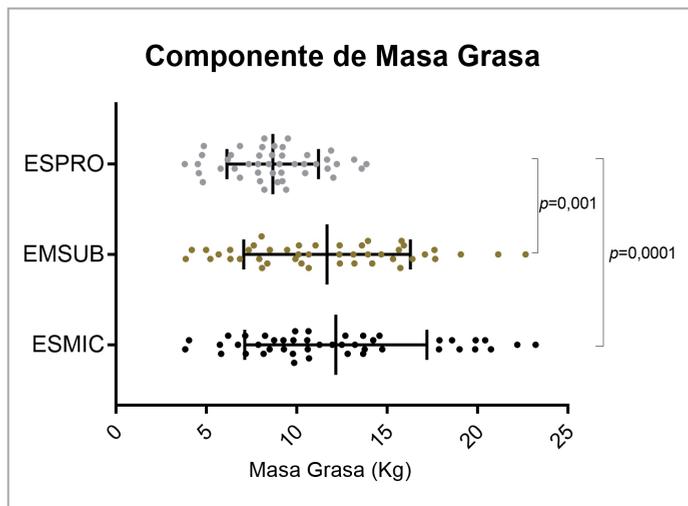
En el set de gráficas se presenta las comparaciones de algunas variables de la composición corporal entre las tres escuelas, para lo cual se realizó

un análisis de varianzas de un factor (Anova) con pruebas para múltiples comparaciones de Bonferroni o Games Howell, según el caso, para datos que presentaron normalidad en su distribución. También se realizó la comparación intergrupos para datos con distribución no paramétrica con el estadístico de Kruskal Wallis, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las siguientes variables: en el IMC entre la Esmic y la Espro ( $p = 0,029$ ) (figura 1). En la cantidad de masa grasa entre la Esmic y la Espro ( $p = 0,0001$ ) y entre la Emsub y la Espro ( $p = 0,001$ ) (figura 2). En la masa muscular esquelética entre la Esmic y la Emsub ( $p = 0,0001$ ) y entre la Esmic y la Espro ( $p = 0,0001$ ) (figura 3). En la masa libre de grasa entre la Esmic y la Emsub ( $p = 0,0001$ ) y entre la Emsub y la Espro ( $p = 0,005$ ) (figura 4). En el gasto energético total entre la Esmic y la Emsub ( $p = 0,021$ ) y entre la Esmic y la Espro ( $p = 0,009$ ) (figura 5); lo mismo que en el ángulo de fase, donde se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la Esmic y la Emsub ( $p = 0,0001$ ) y entre la Emsub y la Espro ( $p = 0,009$ ) (figura 6). El análisis de correlación entre el IMC y las variables bioeléctricas evidenció relaciones significativas con el valor de la masa grasa ( $r = 0,83$ ;  $p = 0,0001$ ) (figura 7) y con la masa muscular esquelética ( $r = 0,45$ ;  $p = 0,0001$ ) (figura 8).

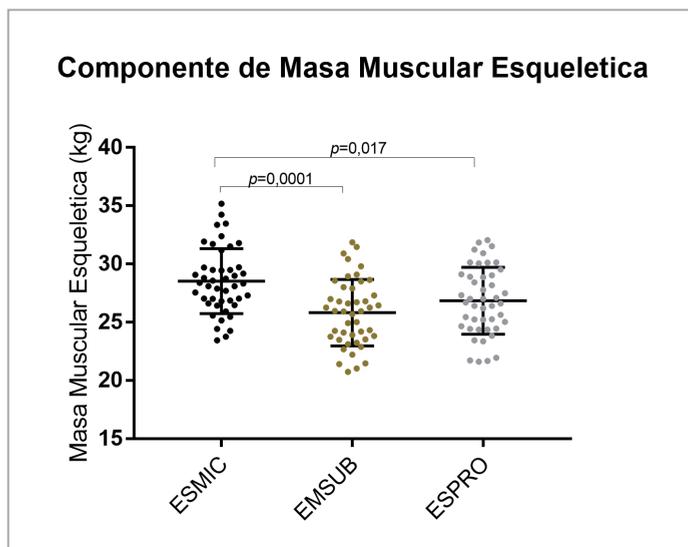


**Figura 1.** Comparación del Índice de Masa Corporal (IMC) entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación (Esmic, Emsub y Espro). Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de prueba Games-Howell.

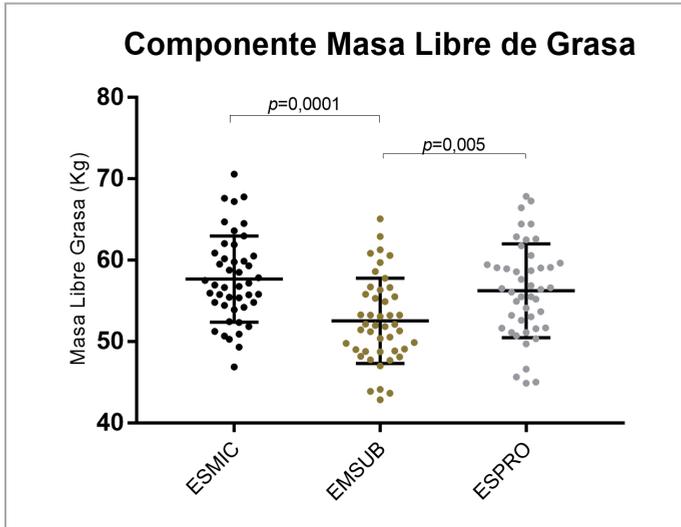
Fuente: Original de los autores.



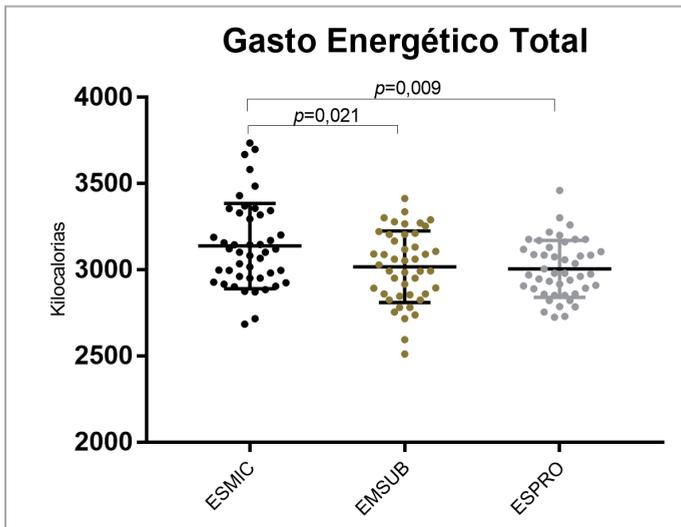
**Figura 2.** Comparación del componente de masa grasa en kilogramos entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación: Esmic, Emsub y Espro. Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de Games-Howell. Fuente: Original de los autores.



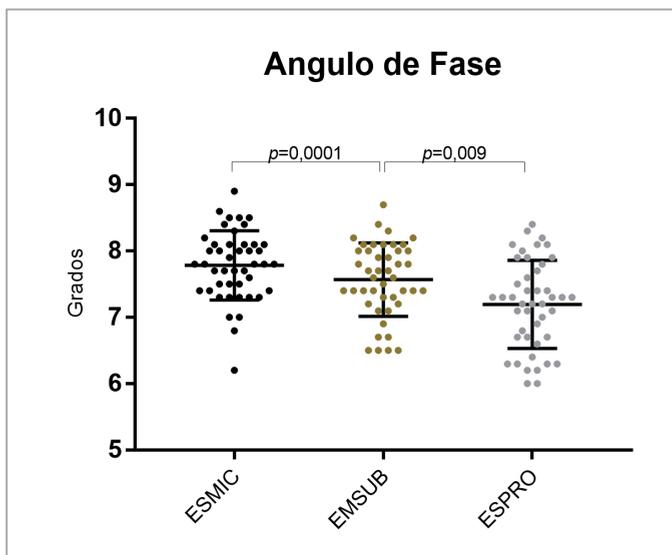
**Figura 3.** Comparación del componente de masa muscular esquelética en kilogramos entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación: Esmic, Emsub y Espro. Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de Bonferroni. Fuente: Original de los autores.



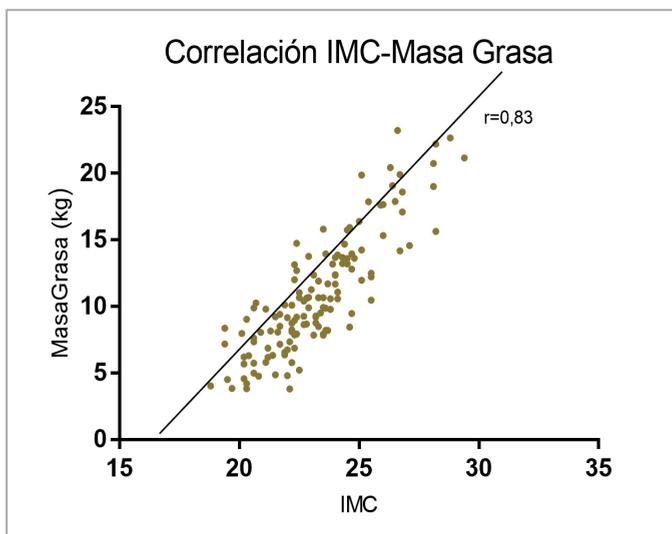
**Figura 4.** Comparación del componente de masa libre de grasa en kilogramos entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación: Esmic, Emsub y Espro. Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de Bonferroni.  
Fuente: Material propio de los autores



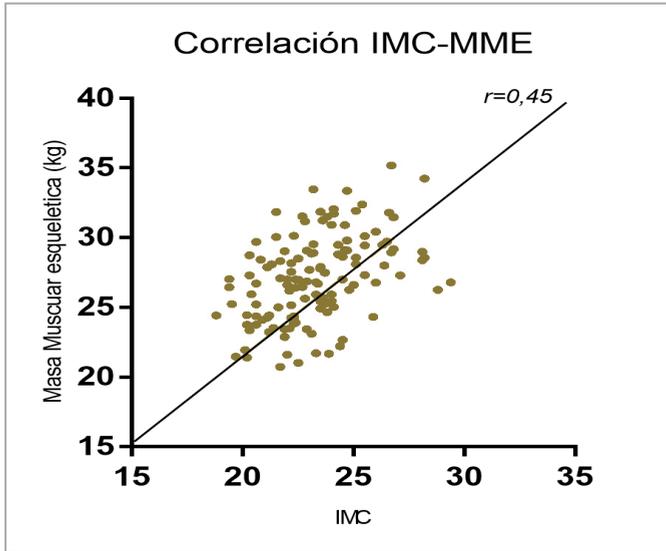
**Figura 5.** Comparación del gasto energético total en kilocalorías entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación: Esmic, Emsub y Espro. Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de Bonferroni.  
Fuente: Original de los autores.



**Figura 6.** Comparación del ángulo de fase entre los alumnos de último nivel de las tres escuelas de formación Esmic, Emsub y Espro. Análisis de varianza (Anova) de comparación múltiple, estadístico de Bonferroni.  
Fuente: Original de los autores.



**Figura 7.** Correlación entre el IMC y la masa grasa del total de los participantes del estudio en las tres escuelas de formación del Ejército Nacional. Correlación de Spearman ( $r = 0,83$ ).  
Fuente: Original de los autores.



**Figura 8.** Correlación entre el IMC y la masa muscular esquelética de los participantes del estudio en las tres escuelas de formación del Ejército Nacional. Correlación de Spearman ( $r = 0,45$ ).

Fuente: Original de los autores.

## Discusión

El principal propósito de mantener adecuados niveles de *fitness* y composición corporal en el personal militar es que se consideren un criterio de selección para desempeñar labores propias de las demandas físicas del servicio militar, pues se asume que un adecuado peso corporal se correlaciona con un buen estado de salud, con una condición física y mental adecuada, lo mismo que de una apariencia militar adecuada (21). Los avances en los servicios de salud, en los desarrollos tecnológicos e informáticos, así como la mejoría de los requerimientos nutricionales en recientes décadas han llevado a un aumento en el promedio de peso, talla y masa libre de grasa de la población en general. Sin embargo, el riesgo de consumo excesivo de alimentos, tanto en cantidad como en calidad, lo mismo que la inactividad física, se han convertido en una preocupación institucional debido al impacto que tiene el sobrepeso en la salud y el desempeño del militar. Por esta razón, una de

las preguntas más relevantes que se plantean las organizaciones encargadas de supervisar los planes de entrenamiento físico y militar es cómo evaluar el desempeño físico (*fitness*) del integrante de un ejército, frente a la cual se proponen cuatro componentes: la capacidad aeróbica, la potencia muscular, la resistencia y la composición corporal (22).

No obstante, hasta el momento no se había evaluado en conjunto las cualidades propias de la composición corporal del militar colombiano que cursa su entrenamiento técnico y táctico en las escuelas de formación del Ejército Nacional. Precisamente, el aporte de este trabajo es que permite contrastar la caracterización física de esta población con estudios en otros países, lo mismo que entre a las tres escuelas, como se presenta a continuación.

El IMC —un indicador de cribado poblacional para detectar sobrepeso y obesidad que analiza la relación entre el peso y la talla— de toda la muestra estudiada fue  $23,21 \pm 2,16$  peso kg / talla<sup>2</sup>. En contraste, Maldonado y cols. encontraron en 2017 valores similares del IMC de  $22,7 \pm 2,7$  peso kg / talla<sup>2</sup> en un estudio de 153 alumnos de escuelas de formación de soldados del Ejército en Ecuador, pero con la diferencia de que los datos de la composición corporal fueron obtenidos por pliegues cutáneos (23). En 2018, otro estudio de Cortés y cols. encontraron valores de IMC de  $24,4 \pm 2,22$  peso kg/ talla<sup>2</sup> en 72 cadetes que asistieron a un curso de combate de doce semanas en Colombia; estos valores fueron recolectados por bioimpedancia eléctrica antes de que los soldados asistieran al entrenamiento del Curso de Combate (24). En 2017, Duran-Agüero y cols. hallaron en una muestra de 415 soldados de una brigada chilena de paracaidismo militar que el valor de IMC en militares menores de 30 años era de  $25,4 \pm 2,9$  peso kg / talla<sup>2</sup> (25). Por su parte, en 2016 Gómez y cols. determinaron por bioimpedancia un IMC de  $26,90 \pm 0,80$  peso kg/talla<sup>2</sup> en 288 militares mexicanos (26). Finalmente, en estudios realizados en el Reino Unido, Blacker y cols. evaluaron en 2013 diferentes parámetros de 119 integrantes de distintos componentes de las fuerzas militares (Armada, Fuerza Área y Ejército) y encontraron que los integrantes del Ejército tenían un IMC de  $22,2 \pm 2,6$  peso kg/ talla<sup>2</sup> (27). Como se observa, el promedio general del IMC en los diferentes ejércitos evaluados

no tiene mayores diferencias, con excepción de la población chilena, donde se valoraron sujetos con edades superiores a los 25 años, lo cual se relaciona con el aumento del IMC asociado a las condiciones de edad.

En cuanto a la diferencia del IMC entre las tres escuelas de formación del Ejército de Colombia, se encontraron diferencias significativas entre los alumnos de la Esmic respecto a los de la Espro. Este hallazgo está íntimamente relacionado con menores valores en el componente de masa grasa en la Espro, lo cual se explica por varias razones: en primer lugar, tienen un entrenamiento más corto en duración, pero con mayor intensidad (doce semanas de entrenamiento constante con carga permanente de equipo de campaña); en segundo lugar, la altura de la zona donde se hace el entrenamiento —336 metros sobre el nivel del mar, mientras que en Bogotá es de 2.600 m. s. n. m.— hace que las pérdida sensible e insensible de agua sea mayor en la Espro. Considerando estas condiciones y para evitar los sesgos de medición, se aplicó el protocolo *pretest* de bioimpedancia, con lo cual no se afectó la valoración del peso y el componente de masa grasa, pues al ser menor en esta población, se reflejaba directamente con un menor IMC.

Asimismo, el componente de masa grasa se estimó en  $10,83 \pm 4,45$  kg. Para esta misma variable, estudios similares como los de Cortés y cols. en 2018 encontraron valores de  $6,27 \pm 4,88$  kg. En el que realizaron Duran-Agüero y cols. en Chile en 2017 los valores de masa grasa fueron de  $16,1 \pm 5,6$  kg, mientras que Vásquez Guzmán y cols. en México en 2016 reporta  $19,32 \pm 3,07$  kg. Al observar estas últimas poblaciones, los valores de IMC mayores se podrían atribuir al aumento de la masa grasa, así como a problemas de sobrepeso relacionado con la edad y bajo nivel de actividad física. En cuanto a la comparación entre las tres escuelas, la Espro presentó menor cantidad de masa grasa en comparación con las otras dos escuelas de formación del Ejército Nacional.

Por su parte, el componente de masa libre de grasa se determinó para las tres escuelas con una media de  $55,49 \pm 5,82$  kg. En un estudio previo en militares colombianos realizado por Cortés y cols. en 2018 se encontraron valores de  $66,3 \pm 6,12$  kg para su muestra (24). Mientras que en militares

chilenos la masa libre de grasa fue de  $57,8 \pm 6,0$  kg. Por último, en la población de militares mexicano se estimó este valor en  $57,55 \pm 5,09$  kg (26). Asimismo, en la comparación entre las escuelas de formación se hallaron diferencias significativas entre los valores de la masa libre de grasa, con la muestra de la Emsub como la que presenta menores componentes de tejido libre de grasa. Cabe anotar que en la asociación de este componente con el IMC no se encontró una correlación fuerte entre estas dos variables ( $r = 0,33$ ;  $p = 0,001$ ), lo cual coincide con los valores obtenidos en población militar mexicana ( $r = 0,33$ ) y muy diferente a la correlación de los componentes en población chilena ( $r = 0,61$ ).

En cuanto al promedio del componente de masa muscular esquelética en la población de estudio se estableció un valor de  $27,06 \pm 3,03$  kg, el cual es disímil al que encontró Cortés y cols. en población similar:  $63 \pm 5,09$  kg (24). La comparación entre las escuelas evidenció que los militares de la Emsub presentaron menor componente de músculo esquelético, con diferencias significativas respecto a los militares de la Esmic y la Espro. Se debe señalar, además, que la correlación obtenida entre el IMC y la masa muscular esquelética es positiva entre estas dos variables ( $p = 0,45$ ).

Ahora bien, a pesar de que se documentaron valores obtenidos de las variables de la composición corporal como gasto energético total, gasto energético en reposo, agua corporal total, agua extracelular y ángulo de fase, no se encontró literatura en militares para contrastar. Sin embargo, es importante contar con una línea de base que describa las características bioeléctricas de la composición corporal en este tipo de poblaciones. Particularmente, el estudio de estas variables arrojó diferencias significativas cuando se compararon los resultados obtenidos por las tres escuelas, diferencias que se podrían explicar en razón a tiempos, intensidad y frecuencia de los entrenamientos; no obstante, en términos generales, estos hallazgos no tienen variaciones significativas con respecto a los estándares reportados en otros estudios sobre población militar.

## Conclusiones

Aunque son muy pocos los estudios que analizan la composición corporal por bioimpedancia eléctrica en jóvenes y menos aun cuando se trata de una población militar, este trabajo determinó las variables de la composición corporal de mayor uso en nutrición deportiva y entrenamiento militar.

Este estudio piloto mostró ciertas diferencias estadísticas en los componentes de la composición corporal y variables bioeléctricas en relación con la escuela de formación. A pesar de que la muestra es homogénea, los resultados del estudio evidencian que en la Espro se presentan porcentajes de masa grasa menores a la Esmic y la Emsub. Esta diferencia se podría explicar por las características del entrenamiento intensivo y continuo en los cuatro meses de fase de instrucción, durante la permanencia del militar en la Escuela de Soldados Profesionales, mientras que en la Escuela de Suboficiales esta fase de instrucción y permanencia en la escuela es de año y medio y en la Escuela de Oficiales es de cuatro años. Caso contrario sucede con la masa muscular esquelética, que es mayor en la Esmic y Espro en comparación con la Emsub. Este es un primer paso para desarrollar estudios que permitan caracterizar mejor las variables de interés con muestras mucho más representativas de todas las unidades del Ejército Nacional.

## Agradecimientos

Agradecemos a los directivos y personal integrante de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdoba”, de la Escuela de Suboficiales Sargento Inocencio Chincá y de la Escuela de Soldados Profesionales Pedro Pascasio Martínez Rojas por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente estudio. Los autores declaramos no tener ningún tipo de conflicto de intereses en el desarrollo del presente estudio.

## Financiación

Este estudio fue realizado con recursos de la Convocatoria Interna 001-2017 del Comando de Apoyo Tecnológico de Ejército de Colombia, según Acta 65060 del 5 de julio de 2017.

## Referencias

1. Task Group 019. Report RTOT. Optimizing Operational Physical Fitness (Optimisation de l' aptitude physique opérationnelle) [Internet]. 2009. 342 pp. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.214.8364&rep=rep1&type=pdf>
2. Santtila M, Keijo H, Laura K, Heikki K. Changes in cardiovascular performance during an 8-week military basic training period combined with added endurance or strength training. *Mil Med*. 2008; 173 (12): 1173-9.
3. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*. 2007; 39 (8): 1423-34.
4. Cawley J, Maclean JC. Unfit for Service: the implications of rising obesity for U.S. military recruitment. *Health Econ*. 2012 noviembre; 21 (11): 1348-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hec.1794>
5. Shi H, Jiang B, Wei Sim JD, Chum ZZ, Ali N Bin, Toh MH. Factors associated with obesity: a case-control study of young adult Singaporean males. *Mil Med* [Internet]. 2014; 179 (10): 1158-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00064>
6. Pihlainen K, Santtila M, Hakkinen Keiji KH. Associations of physical fitness and body composition characteristics with simulated military task performance. *J Strength Cond Res*. 2018 abril; 32 (4): 1089-98. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000001921>.
7. Bahamondes-Avila C, Cárcamo-Oyarzún J, Aedo-Muñoz E, Rosas-Mancilla M. Relación entre indicadores antropométricos regionales de masa muscular y potencia de extremidades inferiores en deportistas juveniles de proyección. *Rev Bras Ciências do Esporte*. 2018; 40(3): 295-301.
8. Pierce JR, DeGroot DW, Grier TL, Hauret KG, Nindl BC, East WB, et al. Body mass index predicts selected physical fitness attributes but is not associated with performance on military relevant tasks in U.S. Army Soldiers. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2017 noviembre; 20 (2017): S79-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2017.08.021>
9. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72

- year. *Br J Nutr* [Internet]. 1974 julio; 32(1): 77-97. DOI: <http://dx.doi.org/10.1079/bjn19740060>
10. Mala L, Maly T, Zahalka F, Bunc V, Kaplan A, Jebavy R, et al. Body composition of elite female players in five different sports games. *J Hum Kinet*. 2015 marzo; 45 (1): 207-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/hukin-2015-0021>
  11. Nelson KM, Weinsier RL, Long CL, Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr* [Internet]. 1992 noviembre [citado 2017 octubre 23]; 56(5): 848-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/56.5.848>
  12. Nickerson BS, Esco MR, Kliszczewicz BM, Freeborn TJ. Comparison of bioimpedance and underwater weighing body fat percentage before and acutely after exercise at varying intensities. *J Strength Cond Res*. 2017; 31(5):1395-402. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000001716>
  13. Dopsaj M, Markovic M, Kasum G, Jovanovic S, Koropanovski N, Vukovic M, et al. Discrimination of different body structure indexes of elite athletes in combat sports measured by multi frequency bioimpedance method. *Int J Morphol* [Internet]. 2017 marzo; 35 (1): 199-207.
  14. Portao J, Bescós R, Iruiria A, Cacciatori E, Vallejo L. Valoración de la grasa corporal en jóvenes físicamente activos: Antropometría vs bioimpedancia. *Nutr Hosp*. 2009 octubre; 24(5):529-34. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112009000500003](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112009000500003)
  15. Mulasi U, Kuchnia AJ, Cole AJ, Earthman CP. Bioimpedance at the bedside: current applications, limitations, and opportunities. *Nutr Clin Pract*. 2015 abril; 30 (2): 180-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0884533614568155>
  16. Caravaca F, del Viejo CM, Villa J, Gallardo RM, Ferreira F. Estimación del estado de hidratación mediante bioimpedancia espectroscópica multifrecuencia en la enfermedad renal crónica avanzada. *Nefrología*. 2011 septiembre; 31 (5): 537-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.3265/Nefrologia.pre2011.Apr.10936>
  17. Colín-Ramírez E, Castillo-Martínez L, Orea-Tejeda A, Vázquez-Durán M, Rodríguez AE, Keirns-Davis C. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic marker in chronic heart failure. *Nutrition*. 2012 septiembre; 28(9): 901-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2011.11.033>
  18. Gupta D, Lammersfeld CA, Vashi PG, King J, Dahlk SL, Grutsch JE, et al. Bioelectrical impedance phase angle as a prognostic indicator in breast cancer. *BMC Cancer* [Internet]. 2008 agosto; 8(1): 249. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2407-8-249>
  19. Urbain P, Birlinger J, Ihorst G, Biesalski H-K, Finke J, Bertz H. Body mass index and bioelectrical impedance phase angle as potentially modifiable nutritional markers are independent risk factors for outcome in allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Ann Hematol* [Internet]. 2013 enero; 92 (1): 111-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00277-012-1573-4>

20. Barrea L, Muscogiuri G, Macchia PE, Di Somma C, Falco A, Savanelli MC, et al. Mediterranean diet and phase angle in a sample of adult population: results of a pilot study. *Nutrients*. 2017 febrero; 9 (2) :1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/nu9020151>
21. Naghii MR. The importance of body weight and weight management for military personnel. *Mil Med*. 2006 junio; 171(6): 550-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed.171.6.550>
22. Sackett P, Anne, M. Physical fitness and musculoskeletal injury. En: National Research Council of the National Academics. *Assessing fitness for military enlistment: physical, medical and mental health standards*. Washington, DC: The National Academies Press; 2005. pp. 66-108. Disponible en: <https://www.nap.edu/read/11511/chapter/1>
23. Maldonado I, SC. Perfil antropométrico y composición corporal en aspirantes de la escuela de formación de soldados del ejército. *Rev Cuba Investig Biomédicas*. 2017 enero; 36(2): 1-15. Disponible en: <http://www.revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/3>
24. Cortés Fernández S, Camargo IY, Botero Rosas D. Modificaciones en el índice de masa y composición corporal en personal activo del Ejército colombiano: un estudio de caso. *Rev Cient Gen José María Córdova*. 2018; 16 (22): 93-106. doi: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.297>
25. Durán-Agüero S, Maraboli Ulloa D, Fernández Frías F, Cubillos Schmied G. Composición corporal en soldados chilenos del Regimiento Buin. *Revista Española Nutrición Humana y Dietética*. 2017; 21 (1): 11.
26. Vázquez-Guzmán MA, Carrera-Rodríguez G, Durán-García AB G-OO. Correlación del índice de masa corporal con el índice de masa grasa para diagnosticar sobrepeso y obesidad en población militar. *Rev Sanid Mil Mex*. 2016 (6); 70 (6): 505-15.
27. Blacker SD, Horner FL, Brown PI, Linnane DM, Wilkinson DM, Wright A, et al. Health, fitness, and responses to military training of officer cadets in a gulf cooperation council country. *Mil Med*. 2013 diciembre; 176 (12): 1376-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed-d-11-00166>



# Equivalentes ventilatorios y pulso de oxígeno máximos en la fase precompetitiva de deportistas militares. (Un estudio observacional)

4

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.04>

Ana Isabel García Muñoz<sup>1</sup>

Hassan Ali Gazwi<sup>2</sup>

Zainab Abdulla Al Robeh<sup>3</sup>

## Resumen

**Objetivo:** analizar los equivalentes ventilatorios para oxígeno ( $VE/VO_2$ ) y el pulso de oxígeno máximos, precompetencia, en un grupo de deportistas militares. **Materiales y métodos:** estudio retrospectivo que analizó por medio de ergoespirometría el pulso de oxígeno el  $VE/VO_2$  y el dióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ) en relación con otras variables fisiológicas. Se aplicó estadística descriptiva. La homogeneidad de la varianza se evaluó mediante la prueba de Levene. La distribución de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se aplicó la T de Student y el coeficiente de Pearson. **Resultados:** sesenta deportistas con edad  $21 \pm 2$  años, 80 % ( $n = 48$ ) hombres y 20 % ( $n = 12$ ) mujeres, ingresaron al estudio. Los equivalentes ventilatorios máximos no mostraron diferencias por género:  $p (>0,05)$ , pero sí por modalidad deportiva:  $p (0,02)$ . El pulso de oxígeno máximo evidenció diferencias por género y tipo de deporte:  $p (>0,01)$ . El  $VE/VCO_{2máx.}$  y el consumo de oxígeno ( $VO_{2máx.}$ ) se relacionaron con la duración de la prueba, y el pulso de oxígeno máximo con la velocidad. **Conclusiones:** la eficiencia

---

1 Terapeuta respiratoria, especialista en rehabilitación cardiopulmonar. Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Bogotá, Colombia. Contacto: ana.garcia@esmic.edu.co - <http://orcid.org/0000-0003-4455-4534>

2 Instructor clínico, líder de grupo. Terapeuta respiratorio Senior del departamento de atención respiratoria en el complejo médico Dammam en Arabia Saudita. Contacto: halgazwi@moh.gov.sa - <https://orcid.org/0000-0001-6149-4700>.

3 Enfermera jefe. Especialista Senior en enfermería del departamento de enfermería en el complejo médico Dammam en Arabia Saudita. Contacto: zalrobbeh@moh.gov.sa - <https://orcid.org/0000-0002-8356-2687>.

ventilatoria para dióxido de carbono y el pulso de oxígeno máximos deben formar parte del entrenamiento físico militar y se debe diferenciar por género y tipo de deporte.

**Palabras clave:** Ergoespirometría, deporte, VE/VCO<sub>2máx.</sub>, equivalentes ventilatorios, pulso de oxígeno.

## Introducción

La prueba de ejercicio cardiopulmonar (Pcpe) o ergoespirometría, se define como un procedimiento diagnóstico de la función y la capacidad del sistema cardiovascular, pulmonar y metabólico, que proporciona información sobre la respuesta del cuerpo al estrés dinámico, de tal manera que se utiliza de forma rutinaria en los laboratorios de pruebas de esfuerzo (1). Las funciones respiratorias y el análisis de gases durante la actividad física, al mismo tiempo que la función cardíaca bajo carga, se monitorean y evalúan. La Pcpe es una herramienta de diagnóstico y pronóstico que se utiliza para evaluar la causa de la falta de aliento (disnea) y para proporcionar la evaluación pronóstica de pacientes con enfermedades cardiovasculares y pulmonares, como enfermedad coronaria, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), embolia pulmonar y síndrome de hiperventilación, así como el asma inducida por el ejercicio, entre otros (2, 3).

Es un método no invasivo y objetivo que proporciona una evaluación muy precisa de la función de los sistemas cardiovascular, pulmonar, muscular y metabólico en forma cuantificada durante el esfuerzo. Esto se calcula comúnmente a partir de la velocidad de trabajo de la cinta de correr o del cicloergómetro. Se considera un estándar de oro para la evaluación funcional cardiopulmonar, por lo tanto numerosas especialidades médicas se han beneficiado de esta prueba, como cardiología, neumología y medicina deportiva o ciencia del deporte (4-7).

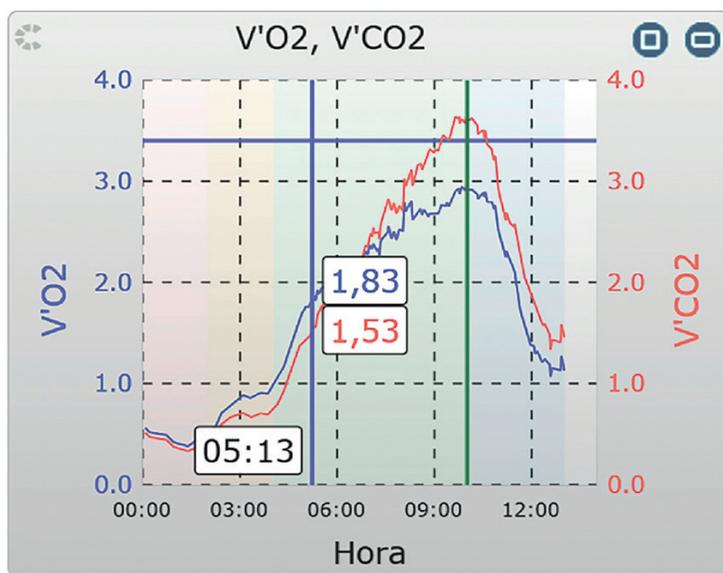
La Pcpe es un importante método de evaluación funcional en Colombia y en todo el mundo. En sus aplicaciones más frecuentes, consiste en aplicar un ejercicio de intensidad que aumenta gradualmente hasta el agotamiento o hasta la aparición de síntomas y / o signos limitantes (8). La prueba se basa

en la medición de gases espirados durante el ejercicio, a partir de lo cual se estima, entre otros y de manera directa, la ventilación pulmonar (VE), el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ), la producción de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ), el  $\text{VO}_2$  máximo ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ),  $\text{VCO}_2$  máximo ( $\text{VCO}_{2\text{máx}}$ ). A partir de estas mediciones se determina de manera indirecta otras variables: los equivalentes ventilatorios para oxígeno ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ), y el cociente respiratorio. Además, se obtienen datos de la fuerza presora, el índice cronotrópico (9), y en algunas situaciones especiales se mide la saturación de pulso, durante la prueba y después del esfuerzo, por mencionar otras variables que se pueden determinar con la prueba (10, 11).

El consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) se define como el volumen de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) extraído del aire inhalado durante la ventilación pulmonar (VE) en un período de tiempo. En la práctica, el  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  es el valor más alto alcanzado, a pesar del aumento progresivo de la carga aplicada y suele considerarse como máximo ( $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ), cuando no se alcanzan criterios de maximidad, sin que en esencia representen lo mismo, pues este último representa la “máxima capacidad de una persona de absorber, transportar y consumir  $\text{O}_2$ ” (4). Esto se calcula a partir de la diferencia entre el volumen de  $\text{O}_2$  en el aire inhalado y exhalado durante el ejercicio por unidad de tiempo. El  $\text{VO}_2$  está determinado por la demanda de  $\text{O}_2$  celular y en personas sanas aumenta linealmente a medida que aumenta el trabajo externo (12). Por su parte, la producción de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ) es la diferencia entre el volumen de  $\text{CO}_2$  en el aire inhalado y exhalado durante el ejercicio por unidad de tiempo y representa la producción metabólica de dióxido de carbono, por tanto, refleja la capacidad del organismo para mantener el equilibrio de ácido básico (9). La  $\text{VCO}_2$  se ve afectada por los mismos factores que el  $\text{VO}_2$ , sin embargo, es más dependiente de la ventilación debido a la mayor solubilidad del  $\text{CO}_2$  en la sangre (13).

Distintas variables en  $\text{Pcpe}$ , incluyendo el cociente respiratorio (RER) y los equivalentes ventilatorios, se derivan de la  $\text{VCO}_2$  (14). El RER expresa la relación entre la producción de  $\text{CO}_2$  y el consumo de  $\text{O}_2$  ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ). Actualmente es el mejor indicador no invasivo de la intensidad máxima o

casi máxima del ejercicio. Los valores superiores a 1.0 pueden reflejar un ejercicio intenso, pero aquellos  $\geq 1.10$  son los que busca una  $P_{cpe}$  (2) y han sido aceptados como un parámetro de agotamiento o casi agotamiento (15). La producción de ácido láctico cercano al agotamiento da como resultado un RER superior a 1, ya que se introduce  $CO_2$  adicional en el sistema a partir del tamponamiento con bicarbonato ( $HCO_3$ ). Por lo tanto, un RER sustancialmente mayor que 1 en el ejercicio máximo es un marcador de esfuerzo máximo. De otra parte, la hiperventilación también puede causar un  $RER > 1$  (14). Otros autores sostienen como criterios de que una persona ha alcanzado una prueba máxima cuando cumple al menos dos de los siguientes criterios: 1) alcanzar la meseta de  $VO_{2m\acute{a}x}$  y que esta se mantenga, aunque la carga de trabajo se incremente; 2) alcanzar la frecuencia cardiaca máxima predicha y que el RER sea  $\geq 1.15$  (16). En la figura 1 se presenta el comportamiento esperado del  $VO_2$  y la  $VCO_2$ , los cuales van ascendiendo de manera lineal, siendo la  $VO_2$  mayor a la  $VCO_2$ , hasta que se alcanza la meseta de  $VO_2$ .



**Figura 1.** Gráfico del comportamiento del  $VO_2$  y  $VCO_2$ .  
Fuente: Original de los autores.

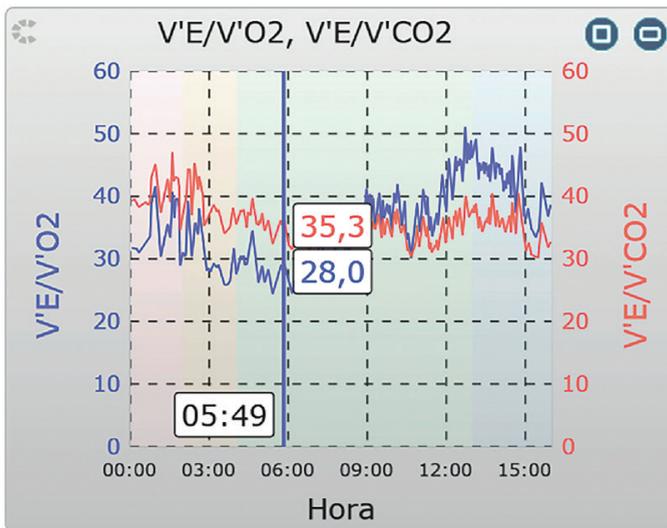
La ventilación pulmonar (VE) se expresa en litros por minuto y representa el volumen de aire que entra y sale de los pulmones. Se determina como el producto de la frecuencia respiratoria por el volumen corriente exhalado en cada ciclo y depende, en primer lugar, del proceso de respiración celular, en segundo lugar, de la interacción entre los sensores y receptores, que captan cambios físicos o químicos, en tercer lugar, del control central que gatilla la frecuencia y profundidad de cada respiración, enviando estímulos a los músculos respiratorios, que serán, en cuarto lugar, los efectores mecánicos que facilitarán la inspiración y la espiración. En tal sentido, se conoce que existen sensores ubicados a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC), que captan cambios en el pH y la temperatura central. Por fuera del SNC se hallan los cuerpos carotídeos y aórtico, sensibles a cambios de  $\text{PaCO}_2$ ,  $\text{PaO}_2$  y pH. También participan algunos receptores ubicados en la vía aérea superior (nariz, faringe y laringe) y los denominados receptores pulmonares (receptores de estiramiento, receptores de irritación y receptores yuxtacapilares). Finalmente, los receptores de los músculos respiratorios (usos neuromusculares y órgano tendinosos de Golgi), al condicionar el nivel de estiramiento y acortamiento de los músculos, también modulan la ventilación. En lo que respecta al control central, el centro neumotáxico ubicado en la Protuberancia, se encarga de inhibir la inspiración e incrementar la frecuencia respiratoria, mientras que el centro apnéustico, hace lo contrario, es decir, aumenta el tiempo inspiratorio. Los centros bulbares se encargan de estimular los músculos respiratorios (17).

En reposo, se ventilan de 7 a 9 L/min., de aire, pero en atletas ese valor puede alcanzar 200 L/min. con el esfuerzo máximo (7, 18). La ventilación aumenta continuamente durante el esfuerzo progresivo en  $\dot{V}_{E_{\text{p}}}$  y experimenta aumentos adicionales influenciados por el metabolismo anaeróbico resultante de la acumulación de ácido láctico, bien definidos como los primeros y segundos umbrales de ventilación (19).

Por su parte, el pulso de oxígeno (pulso de  $\text{O}_2$ ) es la relación entre el  $\dot{V}\text{O}_2$  y la frecuencia cardíaca (FC) y se expresa en ml/latido (20). Un pulso bajo de oxígeno durante el ejercicio puede indicar una disminución del volumen

sistólico o una anomalía en la extracción de oxígeno del músculo esquelético. Una FC baja durante el ejercicio, causada por medicamentos beta-bloqueadores, puede elevar el pulso de  $O_2$  al disminuir el denominador (20).

Los equivalentes ventilatorios para oxígeno ( $VE / VO_2$ ) y para dióxido de carbono ( $VE / VCO_2$ ) son indicadores de eficiencia respiratoria. Se definen como las relaciones entre la ventilación pulmonar y el consumo de oxígeno ( $VE / VO_2$ ) o entre la ventilación pulmonar y la producción de dióxido de carbono ( $VE / VCO_2$ ), durante una prueba de ejercicio incremental (7, 21). Ambas disminuyen desde el reposo hasta las intensidades de ejercicio submáximas y alcanzan valores mínimos antes del umbral anaeróbico (AT), cuando se produce un aumento progresivo, causado por el aumento de la ventilación para eliminar la producción adicional de  $CO_2$ , que da lugar a un tampón de lactato por bicarbonato en sangre (6). En la figura 2 se presenta un ejemplo gráfico del comportamiento del  $VE / VO_2$  y del  $VE / VCO_2$ , en el cual se observa el aumento paulatino del primero y descenso progresivo del segundo.



**Figura 2.** Gráfico del comportamiento del  $VE/VO_2$  y del  $VE/VCO_2$   
Fuente: Original de los autores.

En el ámbito deportivo, la Pcp<sub>e</sub> es una prueba útil y valiosa para evaluar a los atletas y monitorear su progreso ante diferentes tipos de entrenamiento. Esta situación no resulta ajena en los militares, quienes deben tener un buen estado físico que les permita un rendimiento óptimo para cumplir con los requisitos operacionales, en ambientes estresantes, rigurosos y en condiciones de riesgo vital asociadas con su trabajo (22). Por lo tanto, históricamente las Fuerzas Armadas han invertido en el desarrollo de atletas de élite y nivel olímpico en todo el mundo (23), pero existe poca evidencia de Pcp<sub>e</sub> en la población de atletas militares y, a nuestro entender, este es el único estudio que se centra en este tipo de análisis en Colombia. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo analizar los equivalentes ventilatorios y el pulso de oxígeno máximos en la fase precompetitiva de un grupo de deportistas militares.

## Metodología

Estudio observacional en el que se analizaron retrospectivamente 76 ergoespirometrías de deportistas militares de diferentes disciplinas (velocidad, fondo, orientación, triatlón y pentatlón, fútbol y baloncesto) en la fase precompetitiva de 2018. Solo se tuvieron en cuenta 60 pruebas que fueron máximas (cociente respiratorio  $\geq 1,10$ ) (24). Todos los sujetos fueron valorados en el Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi) de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic), en tapiz rodante marca HP Cosmos y con Ergoespirómetro Metalyzer 3B-R2, a una temperatura de 22,6 °C y una presión barométrica de 560 mmHg. Todos debían haber realizado la prueba con protocolo de potencia aeróbica, iniciando con cuatro minutos de calentamiento a 4 km / h. Posteriormente, la velocidad inició a 7 km / h y aumentó una milla, cada minuto, hasta el agotamiento, con inclinación constante del 1 %. Como variables ventilatorias se tuvo en cuenta la ventilación (VE), la producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), el equivalente ventilatorio máximo para oxígeno y para dióxido de carbono, el pulso de oxígeno máximo ( $VO_{2m\acute{a}x} / FC_{m\acute{a}x}$ ), el cociente respiratorio ( $VCO_2$

/  $VO_2$ ), la frecuencia respiratoria máxima ( $FR_{m\acute{a}x}$ ), el volumen corriente máximo ( $VC_{m\acute{a}x}$ ) y el consumo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ). Dentro de las variables cardiacas, se analizó la frecuencia cardiaca máxima ( $FC_{m\acute{a}x}$ ).

Los datos fueron agrupados en una matriz de Excel para analizarlos con el paquete estadístico SPSS 21, aplicando estadística descriptiva. La homogeneidad de la varianza se evaluó mediante la prueba de Levene. La distribución de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se aplicó la T de Student y el coeficiente de Pearson. El uso de los datos fue aprobado por el comité de ética de la Esmic, mediante acta Número 10058, folio 209 de 30 de julio de 2019.

## Resultados

Sesenta sujetos fueron analizados retrospectivamente. En la muestra 80 % (n = 48) fueron hombres y 20 % (n = 12) mujeres, con edad promedio de  $21 \pm 2$  años, peso  $68 \pm 10$  kg, talla  $1,71 \pm 10$  m. El Índice de Masa Corporal (IMC) promedio fue de  $23,1 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup> con una superficie corporal de  $1,8 \pm 0,18$  m<sup>2</sup>,  $FC_{m\acute{a}x}$   $184 \pm 9$  L/min.;  $VO_{2m\acute{a}x}$   $45,6 \pm 6,6$  ml / kg / min.,  $VO_{2m\acute{a}x}$   $3,11 \pm 0,63$  L. Asimismo, el  $VCO_{2m\acute{a}x}$  fue  $3,6 \pm 0,7$  L, el  $VE_{m\acute{a}x}$   $148,2 \pm 27$  L, el  $VE / VO_{2m\acute{a}x}$   $52,6 \pm 10,2$ . Por su parte, el  $VE/VCO_{2m\acute{a}x}$  fue  $41,17 \pm 4,6$ , la  $FR_{m\acute{a}x}$   $68,9 \pm 10$  r/min, y el  $VC_{m\acute{a}x}$   $2,1 \pm 0,48$  L. El Pulso de oxígeno fue de  $17 \pm 3,5$  ml/latido y el cociente respiratorio de  $1,2 \pm 0,10$ . El 10 % (n = 6) de los deportistas eran de pentatlón, 22 % (n = 13) de fútbol, 12 % (n = 7) de fondo, 20 % (n = 12) de orientación, 8 % (n = 5) de triatlón, 16 % (n = 10) de velocidad y 12 % (n = 7) de baloncesto. Las diferencias por género se presentan en la tabla 1. En la tabla 2 se muestran las diferencias por modalidad deportiva.

**Tabla 1.** Comportamiento de las variables cardiopulmonares por género

| Variable                              | Media y Ds.  |             | p*   |
|---------------------------------------|--------------|-------------|------|
|                                       | Hombre       | Mujer       |      |
| Edad (años)                           | 20,7±1,7     | 20±1,9      | 2,01 |
| Peso (kg)                             | 71,19±8,5    | 56,07±6,4   | 0,00 |
| Talla (m)                             | 1,74±0,08    | 1,58±0,05   | 0,00 |
| IMC (Kg / m <sup>2</sup> )            | 23,37±1,85   | 22,24±1,58  | 0,05 |
| Duración prueba (minutos)             | 15,39±2,96   | 14,28±3,14  | 0,25 |
| Superficie corporal (m <sup>2</sup> ) | 1,85±0,15    | 1,57±0,12   | 0,00 |
| Velocidad (Km / h)                    | 18,83±1,63   | 15,66±1,06  | 0,00 |
| FC Reposo (lpm)                       | 79±10        | 83±8        | 0,14 |
| FC <sub>máx.</sub> (lpm)              | 183,5±8      | 186,8±12    | 0,26 |
| VO <sub>2máx.</sub> (L)               | 3,34±0,48    | 2,21±0,26   | 0,00 |
| VO <sub>2máx.</sub> (ml / kg / min)   | 47,16±6,15   | 39,66±4,9   | 0,00 |
| VCO <sub>2máx.</sub> (L / min)        | 3,89±0,48    | 2,56±0,32   | 0,00 |
| VE <sub>máx.</sub> (L / min)          | 157,53±20,33 | 111,3±17,98 | 0,00 |
| VE/VO <sub>2máx.</sub>                | 51,32±10     | 57,90±9,85  | 0,45 |
| VE/VCO <sub>2máx.</sub>               | 40,62±4,52   | 43,36±4,58  | 0,66 |
| FR <sub>máx.</sub> (rpm)              | 70,22±9,94   | 64±9,34     | 0,05 |
| VC <sub>máx.</sub> (L / min)          | 2,27±0,36    | 1,75±0,27   | 0,00 |
| Pulso O <sub>2</sub> (ml / latido)    | 18,25±2,77   | 12,08±1,44  | 0,00 |
| Cociente respiratorio                 | 1,20±0,11    | 1,16±0,1    | 0,23 |

\* Nivel de significancia (p < 0,05).

Fuente: Original de los autores.

**Tabla 2.** Comportamiento de las variables cardiopulmonares por modalidad deportiva.

| Variable                              | Media y Ds. |            | p*   |
|---------------------------------------|-------------|------------|------|
|                                       | Individual  | Grupal     |      |
| Edad (años)                           | 21±2        | 21±1       | 0,54 |
| Peso (kg)                             | 64,9±8,4    | 74,6±10,4  | 0    |
| Talla (m)                             | 1,70±0,1    | 1,80±0,1   | 0,01 |
| IMC (Kg / m <sup>2</sup> )            | 23,0±1,9    | 23,4±1,7   | 0,43 |
| Duración prueba (minutos)             | 15,9±3,3    | 13,8±1,5   | 0,11 |
| Superficie corporal (m <sup>2</sup> ) | 1,7±0,2     | 1,9±0,2    | 0    |
| Velocidad (Km /h)                     | 18,3±2,3    | 18,1±1,4   | 0,74 |
| FC. Reposo (lpm)                      | 80,5±10,8   | 78,9±9,7   | 0,57 |
| FC <sub>máx.</sub> (lpm)              | 186,6±9,2   | 179,4±7,5  | 0,03 |
| VO <sub>2máx.</sub> (L)               | 3,0±0,7     | 3,3±0,5    | 0,18 |
| VO <sub>2máx.</sub> (ml / kg / min)   | 46,6±7,5    | 43,9±3,9   | 0,13 |
| VCO <sub>2máx.</sub> (L / min)        | 3,4±0,7     | 4±0,6      | 0,01 |
| VE <sub>máx.</sub> (L / min)          | 144,7±28,3  | 155,4±23,9 | 0,15 |
| VE / VO <sub>2máx.</sub>              | 55,5±8,5    | 47±11,3    | 0,02 |
| VE / VCO <sub>2máx.</sub>             | 42,4±4,6    | 38,4±3,6   | 0,02 |
| FR <sub>máx.</sub> (rpm)              | 70,9±11,1   | 65,1±6     | 0,03 |
| VC <sub>máx.</sub> (L / min)          | 2,1±0,4     | 2,4±0,4    | 0,01 |
| Pulso O <sub>2</sub> (ml / latido)    | 16,4±3,7    | 18,4±3     | 0,03 |
| Cociente Respiratorio                 | 1,18±0,1    | 1,2±0,1    | 0,04 |

\* Nivel de significancia (p < 0,05).

Fuente: Original de los autores.

Los VE / VO<sub>2máx.</sub> y VE / VCO<sub>2máx.</sub> no mostraron diferencias significativas por género, pero sí por modalidad deportiva. Deporte individual VE / VO<sub>2máx.</sub> 55,5 ± 8,5 vs 47 ± 11,3 en deporte en equipo y VE / VCO<sub>2máx.</sub> 42,4 ± 4,6 vs 38,4 ± 3,6, respectivamente, con p (0,00) en ambos casos.

El  $\text{PulO}_{2\text{máx.}}$  evidenció diferencias por género. Hombres:  $18,25 \pm 2,77$  ml / latido y  $12,08 \pm 1,44$  ml / latido en mujeres,  $p$  (0,00). También por modalidad deportiva:  $16,4 \pm 3,7$  ml / latido en deporte individual y  $18,4 \pm 3$  ml / latido en deporte por equipo,  $p$  (0,01). El  $\text{VE} / \text{VCO}_{2\text{máx.}}$  se relacionó con el  $\text{VE}/\text{VO}_{2\text{máx.}}$  ( $r = 549$ ,  $p = 0,00$ ), con el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  ( $0,342 \pm 0,00$ ), con el tiempo de duración de la prueba ( $r = 0,385$ ,  $p = 0,00$ ). A su vez, la duración de la prueba se relacionó con el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  ( $r = 0,518$ ,  $p = 0,00$ ). La  $\text{VE} / \text{VO}_{2\text{máx.}}$  se relacionó con el peso ( $r = -373$ ,  $p = 0,00$ ), con el Índice de Masa Corporal ( $r = -317$ ,  $p = 0,00$ ) y con la  $\text{VCO}_{2\text{máx.}}$  ( $r = -317$ ,  $p = 0,00$ ). El  $\text{PulO}_{2\text{máx.}}$  se relacionó con la talla ( $r = 0,693$ ,  $p = 0,00$ ), con el peso ( $r = 732$ ,  $p = 0,00$ ), con el IMC ( $r = 335$ ,  $p = 0,00$ ), con la velocidad ( $r = 414$ ,  $p = 0,00$ ), con la  $\text{VCO}_{2\text{máx.}}$  ( $r = 0,781$ ,  $p = 0,00$ ), con la  $\text{VE}_{\text{máx.}}$  ( $r = 0,828$ ,  $p = 0,00$ ) y con el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  ( $r = 0,661$ ,  $p = 0,00$ ). El  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  se relacionó con la  $\text{FR}_{\text{máx.}}$  ( $r = 0,474$ ,  $p = 0,00$ ).

## Discusión

En la fase precompetitiva, el principal objetivo es evaluar las condiciones físicas y funcionales de los deportistas, con el fin de implementar planes de entrenamiento que optimicen el desempeño durante la competencia. En el presente trabajo se evidenció que el equivalente ventilatorio máximo para dióxido de carbono, el consumo de oxígeno máximo y el pulso de oxígeno fueron variables que tuvieron un impacto significativo en la duración de la prueba y, por tanto, en el rendimiento de los deportistas valorados.

En relación con lo descrito, se ha informado que el  $\text{VE} / \text{VCO}_2$  no tiene relación con la capacidad del atleta para usar oxígeno o alcanzar un alto rendimiento (25). No obstante, en este estudio se halló una correlación positiva entre esta variable medida en el esfuerzo máximo y la duración de la prueba en la fase precompetitiva, lo cual sugiere una asociación entre la ventilación y el rendimiento. Por esta razón se recomienda monitorearla en el entrenamiento, como lo sugieren Sauer, Pérez y Cartelli (26), quienes sostienen que el equivalente ventilatorio para dióxido de carbono puede ser

medido en las diferentes fases de la ergoespirometría, lo cual implica que pueda ser medido en el momento en que se alcanza el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$ , como se realizó en este estudio. De hecho, en varios trabajos en los que se compara la efectividad de diferentes tipos de entrenamiento sobre variables cardiopulmonares, se analiza el efecto sobre el  $\text{VE} / \text{VCO}_2$ , medido en el máximo esfuerzo (27, 28), en el entendido de que como no existe un consenso que especifique en qué momento debe evaluarse (29), siempre será un indicativo de la eficiencia para ventilar. En este punto es necesario recordar que por medio de la ventilación el sujeto puede ingresar oxígeno y eliminar dióxido de carbono y que según el comportamiento de la curva de disociación de la hemoglobina, la disminución del pH plasmático, el aumento de la  $\text{PaCO}_2$  o de la temperatura, entre otros, provocan una disminución de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, favoreciendo su entrega a los tejidos (30), situación que podría explicar la relación que se halló en la fase máxima en los deportistas valorados.

En el mismo orden de ideas, el trabajo de Nalbandiano y colaboradores (31), que también consideraron la duración de la prueba como un indicador de rendimiento, documentó en un grupo de diez hombres deportistas que ni el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  ni la resistencia son influidos por la frecuencia respiratoria. Contrario a ello, en este trabajo se evidenció una relación significativa entre el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  y la  $\text{FR}_{\text{máx.}}$ , y aunque no se halló relación entre la  $\text{FR}$  y la duración de la prueba, es posible pensar que, si la  $\text{FR}$  se relaciona con el  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$ , también lo haga sobre el rendimiento, aspecto que podría abordarse en otro estudio. En este caso, el incremento exagerado de la frecuencia respiratoria en la fase máxima hace que el volumen corriente se reduzca y por consiguiente se incremente la  $\text{PaCO}_2$ , lo cual genera, como lo describe Minas desde la fisiología, que el efecto Bohr se potencie y por lo tanto optimice la entrega de  $\text{O}_2$  (32, 33). Esta situación también explicaría la relación hallada entre el  $\text{VE} / \text{VO}_2$  y la  $\text{VCO}_2$  y entre el  $\text{VE} / \text{VCO}_2$  y el  $\text{VO}_2$ .

Por su parte, Herdy y Uhlendorf establecieron baremos de  $\text{VO}_{2\text{máx.}}$  en 2.388 hombres y 1.534 mujeres brasileños sanos, sedentarios y físicamente activos, con valores promedio en la población activa de  $50,6 \pm 7,3 \text{ ml} / \text{kg} /$

min. para los hombres y  $38,9 \pm 5,7$  ml / kg / min. para las mujeres (4). En el presente estudio se encontraron valores levemente superiores en las mujeres y levemente inferiores en los hombres, diferencias que se pueden deber al tipo de población, la raza y la edad, pues fue en el grupo de 15 a 24 años de Herdy y Uhlendorf con los que se comparan nuestros resultados, mientras que en el presente estudio la edad mínima fue 18 años.

Asimismo, teniendo en cuenta que el  $VO_2$  depende, en parte, de una correcta difusión de gases, que la difusión de gases se ve influenciada por constantes de tiempo (34) y que en actividades intensas de alta demanda metabólica la FC llega a niveles máximos que acortan el tiempo de exposición del glóbulo rojo en la membrana hematogaseosa, es posible explicar que las frecuencias máximas alcanzadas por los deportistas pudieron influir para que el  $VO_{2máx.}$  estuviera disminuido, si se comparan los valores hallados en otros deportistas de las mismas edades en la fase precompetitiva (33). En este punto es importante referir como posible explicación de estos hallazgos la heterogeneidad de la población, en cuanto a modalidad, pues no todos los deportistas pertenecían a la misma disciplina y, por tanto, sus diferentes requerimientos metabólicos, aunque pertenecieran a la misma modalidad, influyen en la respuesta fisiológica al ejercicio (35). Adicionalmente, no se contó con datos que pudieran establecer cuánto tiempo llevaban practicando el deporte, de manera que algunos de ellos podrían ser aficionados, situación que también podría influir para que las diferencias de los equivalentes ventilatorios de  $CO_2$  y  $O_2$ , entre las modalidades deportivas, hayan tenido el comportamiento registrado. Por esta razón se recomienda tener en cuenta estos aspectos en futuros estudios.

Finalmente, el trabajo de Padilla con deportistas de resistencia mexicanos documentó una relación positiva entre  $PulO_{2máx.}$  y  $VO_{2máx.}$  absoluto, pero negativa entre  $PulO_{2máx.}$  y  $FC_{máx.}$  (20), hallazgos similares a los de este trabajo, lo cual corrobora que el entrenamiento, al generar cambios en el número de miofibrillas y en su capacidad oxidativa, hace que se requiera menor frecuencia cardiaca para lograr mejores valores de  $VO_2$  (36). Por ello el pulso de oxígeno complementa la evaluación cardiorrespiratoria, tal y como lo concluye el mismo Padilla (20).

## Conclusiones

El equivalente ventilatorio para dióxido de carbono máximo ( $VE / VCO_{2máx.}$ ) influye en la duración de la prueba, por lo que el entrenamiento de la técnica de la respiración y o de los músculos respiratorios podrían influir en el desempeño deportivo.

El  $PulO_{2máx.}$  permite identificar la resistencia cardiopulmonar y por tanto el desempeño deportivo. Esto se vio reflejado en su relación directa con la velocidad de los deportistas valorados. Por ello, el entrenamiento, además de potenciar la ventilación, debe procurar potenciar el  $PulO_{2máx.}$  haciendo diferencias por género y tipo de deporte.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi) de la Esmic. Así mismo, al laboratorio cardiopulmonar y al servicio de Nutrición Deportiva por el adecuado registro de la información.

## Financiación

Este estudio fue financiado por la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Convocatoria financiada 01 de 2019.

## Referencias

1. Cid-Juárez S, Miguel-Reyes JL, Cortés-Téllez A, Gochicoa-Rangel L, Mora-Romero UJ, Silva-Cerón M, Torre-Bouscoulet L. Prueba cardiopulmonar de ejercicio. Recomendaciones y procedimientos de ejercicio. *Neumol. Cir. Torax.* 2015 julio; 74 (3): 207-221. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/neumo/nt-2015/nt153h.pdf>
2. Thomas A, Burdiat G (Dres.). Pruebas de esfuerzo cardiopulmonar en la práctica clínica. *Rev. Urug. Cardiol.* 2010 junio; 25 (1): 17-27. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/ruc/v25n1/v25n1a04.pdf>

3. Balady GJ, Arena R, Sistsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181e52e69>
4. Herdy AH, Unhlandorf D. Valores de referencias para el test cardiopulmonar para hombres y mujeres sedentarios y activos. Archivos Brasileiros de Cardiologia. 2011 noviembre; 96 (1): 54-59. <https://doi.org/10.1590/S0066-782X2010005000155>.
5. Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, Bricker JT, Duvernoy WJ, Froelicher VF, et al. ACC/AHA guidelines for exercise testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. J Am. Coll. Cardiol. 1997 julio; 30 (1): 260-311. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097\(97\)00150-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0735-1097(97)00150-2)
6. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al. European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation; American Heart Association. EACPR/AHA Scientific Statement Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Circulation. 2012 octubre; 126 (18): 2261-2274. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0b013e31826fb946>
7. Herdy AH, Fonteles Ritt E, Stein R, Gil Soares de Araujo C, Milani M, Meneghelo RS, et al. Cardiopulmonary exercise test: Background, Applicability and interpretation. Arq. Bras. Cardiol. 2016 noviembre; 107 (5): 467-481. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/abc.2016017>
8. Takashi AD, Flavia B, Rocha ML, Kaminura MA, Mello MT, Tufik S, et al. Impacto del entrenamiento en el umbral ventilatorio sobre la capacidad cardiopulmonar y funcional en pacientes con sobrepeso con enfermedad renal crónica. J. Bras. Nefrol. 2012 junio; 34 (2): 139-147.
9. Ilarraza-Lomelí H. Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. Arch. Cardiol. Méx. 2012 abril / junio; 82 (2): 160-169. Disponible en: [http://archivoscardiologia.com/previos/\(2012\)%20ACM%20Vol%2082.%202%20ABRIL-JUNIO/ACMX\\_2012\\_82\\_2\\_160-169.pdf](http://archivoscardiologia.com/previos/(2012)%20ACM%20Vol%2082.%202%20ABRIL-JUNIO/ACMX_2012_82_2_160-169.pdf)
10. Arena R, Myers J, Guazzi M. The clinical and research applications of aerobic capacity and ventilatory efficiency in heart failure: an evidence-based review. Heart Fail Rev. 2008 junio; 13 (2): 245-269. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10741-007-9067-5>
11. Arena R, Lavie CJ, Milani RV, Myers J, Guazzi M. Cardiopulmonary exercise testing in patients with pulmonary arterial hypertension: an evidence-based review. J Heart Lung Trnsplant. 2010 febrero; 29 (2): 159-173. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.healun.2009.09.003>
12. López Chicharro J, López Mojarrez LM. Fisiología clínica del ejercicio. McArdle WD, Katch FI, Katch VL, editors. España: McGraw-Hill/Interamericana; 2004.
13. Illescas L, Kohn E, Bouchacourt JP, Cavalleri F, Hurtado J, Riva J. Utilidad de las medidas derivadas de la presión parcial de CO2 en pacientes adultos sometidos cirugía

- cardíaca con circulación extracorpórea. *Rev. Chil. Anest.* 2019 agosto; 48 (5): 412-426. Disponible en: <https://doi.org/10.25237/revchilanestv48n05.06>
14. Debapriya Datta EN, ZuWallack R. Cardiopulmonary exercise testing in the assessment of exertional dyspnea. *Ann. Thorac. Med.* 2015 junio; 10 (2): 77-86. DOI: <http://dx.doi.org/10.4103/1817-1737.151438>
  15. Monteiro de Almeida AE, de Moraes Stefani C, do Nascimento A, de Almeida NM, da Cruz Santos A, Pinto Ribeiro J, Stein R. An equation for the prediction of oxygen consumption in a a brazilian population. *Arq. Bras. Card.* 2014 octubre; 103 (4): 299-307. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4206360/>
  16. Hall-López JA, Ochoa-Martínez PY, Moncada-Jiménez J, Ocampo Méndez MA, Martínez García I, Martínez García MA. Confiabilidad del consumo máximo de oxígeno evaluado en pruebas de esfuerzo. *Nutrición Hospitalaria.* 2015 abril; 31 (4): 1726-1732. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.4.8487>
  17. García Cabrera L, Rodríguez Reyes O, Rodríguez Carballosa OB. Regulación de la respiración: organización morfofuncional de su sistema de control. *Medisan.* 2011 abril; 15 (4): 558-567. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192011000400020&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192011000400020&lng=es).
  18. Wasserman K, Whipp BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1975 agosto; 112 (2): 219-249. DOI: <http://dx.doi.org/10.1164/arrd.1975.112.2.219>
  19. Corrá U, Giordano A, Bosimini E, Mezzani A, Piepoli M, Coats A, Giannuzzi P. Oscillatory ventilation during exercise in patients with chronic heart failure: clinical correlates and prognostic implications. *Chest Journal.* 2002 mayo; 121 (5):1572-1580. DOI: <http://dx.doi.org/10.1378/chest.121.5.1572>
  20. Padilla Pérez J. Pulso de oxígeno y su cinética de la fase dos transitoria durante una prueba de esfuerzo máximo de VO<sub>2</sub> en adultos mayores. *Rev. Hosp. Jua. Mex.* 2011; 78 (1): 6-11. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/juarez/ju-2011/ju1111b.pdf>
  21. Arena R, Myers J, Hsu L, Peberdy MA, Pinkstaff S, Bensimhom D, et al. The minute ventilation/carbon dioxide production slope is prognostically superior to the oxygen uptake efficiency slope. *J Card Fail.* 2007 agosto; 13 (6): 462-469. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cardfail.2007.03.004>
  22. JoEllen M S, Burkhardt TA. Introduction to the Tactical Athlete Special Issue. *J. Athl. Train.* 2016 noviembre; 51 (11): 845. DOI: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.16>
  23. Xavier R, Sánchez C, Paulucio D, Moreira da Silva I, Velasque R, Noriega FS, et al. A multidimensional approach to assessing anthropometric and aerobic fitness profiles of Elite Brazilian Endurance Athletes and Military Personnel. *Mil Med.* 2019 diciembre; 184(11-12): 875-881. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/milmed/usz003>
  24. Niño Hernández CA. Evaluación de la aptitud cardiorrespiratoria. *Mov. Cient.* 2010; 4 (1): 68-72. <https://doi.org/10.33881/2011-7191.%25x>

25. Salazar-Martínez E, Rodrigues de Matos T, Arrans P, Santalla A, Naranjo Orellana J. Ventilatory efficiency response is unaffected by fitness level, ergometer type, age, or body mass index in male athletes. *Biology of Sport*. 2018 diciembre; 35 (4):. 393-398. DOI: <http://dx.doi.org/10.5114/biolsport.2018.78060>
26. Sauer D, Perez A, Cartelli L. Efeito do treinamento sobre a eficiência ventilatória de indivíduos saudáveis. *Rev. Bras. Med. Esporte*. 2014 mayo; 20 (6): 470-473. <https://doi.org/10.1590/1517-86922014200601814>
27. Salazar-Martínez E, Santalla A, Naranjo Orellana J, Strobl J, Burtscher M, Menz V. Influence of high-intensity interval training on ventilatory efficiency in Trained Athletes. *Respiratory Physiology & Neurology*. 2018 abril; 250: 19-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resp.2018.01.016>
28. Di Paco A, Dubé B-P, Laveneziana P. Cambios en la respuesta ventilatoria al esfuerzo en deportistas entrenados: efectos beneficiosos sobre la fisiología respiratoria más allá del rendimiento cardiovascular. *Arch. Bronconeumol*. 2017; 53(5): p. 237-244. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2016.11.023>
29. Salazar-Martínez E, Terrados N, Burtscher M, Santalla A., Naranjo Orellana J. Ventilatory efficiency and breathing pattern in world-class cyclists: A three-year observational study. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2016 abril; 229: 17-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resp.2016.04.001>
30. Gutiérrez Muñoz FR. Insuficiencia respiratoria aguda. *Acta Méd. Peruana*. 2010 octubre / diciembre; 27 (4): 286-297. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1728-59172010000400013&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000400013&lng=es)
31. Nalbandiano M, Radak Z, Taniguchi J. How different respiratory patterns affect cardio-respiratory variables and performance. *Int. J. Exerc. Sci*. 2017 mayo; 10 (3): 322-329.
32. Patel AK, Cooper JS. Physiology, Bohr Effect. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island(FL): StatPearls Publishing; 2019.
33. Di Paco A, Dubé BP, Laveneziana P. Changes in Ventilatory Response to Exercise in Trained Athletes: Respiratory Physiological Benefits Beyond Cardiovascular Performance. *Arch. Bronconeumol*. 2017 mayo; 53 (5): 237-244. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2016.11.023>
34. Méndez J E, Zeledon SS, Zamora L F, Cortés V A. Un acercamiento a la cinética del oxígeno. *Rev. Costarric. Cardiol*. 2004 mayo; 6 (2): 37-42. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-41422004000100006&lng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422004000100006&lng=en)
35. Martínez - Sanz JM, Urdampilleta A. Necesidades nutricionales y planificación dietética en deportes de fuerza. *Motricidad*. *European Journal of Human Movement*. 2012 diciembre; 29: 95-114. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2742/274224827007.pdf>
36. Fernández-Lázaro D, Díaz J, Caballero A, Córdova A. Entrenamiento de fuerza y resistencia en hipoxia: efecto en la hipertrofia muscular. *Biomédica*. 2019 septiembre; 39 (1): 212-220. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i1.4084>



# Caracterización del consumo de oxígeno en población especial de la Afeau

5

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.05>

*Angélica María Puentes Salazar<sup>1</sup>*  
*Oscar Mauricio Sarmiento Becerra<sup>2</sup>*

## Resumen

**Objetivo:** en este estudio se analizan los resultados de pruebas de consumo de oxígeno realizadas a personal de la Agrupación de Fuerzas Especiales Antiterroristas Urbanas (Afeau) de las Fuerzas Armadas de Colombia. **Métodos y materiales:** se trata de un estudio transversal que analiza los resultados de la prueba de ergoespirometría en tapiz rodante con un protocolo progresivo e incremental tipo Bruce modificado que se aplicó a dos grupos distintos de la Afeau en 2016 y 2018. Las pruebas fueron realizadas por personal del laboratorio del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi) de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) en un Ergoespirómetro Metalyzer 3B-R2 y tapiz rodante marca HP Cosmos. Con la información obtenida se realizó un análisis descriptivo y los datos se muestran como medianas y rangos intercuartílicos (RIC) dado el pequeño tamaño de la muestra. **Resultados:** el consumo mediano de oxígeno en el umbral y máximo de los participantes fue de 39 (RIC = 37-45) y 45 (RIC = 43-50) mL / min / kg, respectivamente. Por su parte, la frecuencia cardíaca mediana en el umbral fue de 155 Ipm (RIC = 152-158), mientras que la mediana de la frecuencia máxima alcanzó los 174 Ipm (RIC = 166-176). La velocidad máxima realizada en la prueba obtuvo una mediana de 18,5 km / h (RIC = 18,5-20,1). **Conclusiones:** los resultados mostraron que en general la población analizada de

---

1 Médico especialista en Medicina de la Actividad Física y del Deporte. Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: [angelica.puentes@esmic.com](mailto:angelica.puentes@esmic.com) - <http://orcid.org/0000-0002-2682-4185>

2 Médico especialista en Medicina de la Actividad Física y del Deporte. Unidad de Ciencias Aplicadas al Deporte (UCAD) del Instituto distrital de recreación y deporte (IDRD). Contacto: [omsarmiento@fucsalud.edu.co](mailto:omsarmiento@fucsalud.edu.co) - <http://orcid.org/0000-0002-9305-5822>

la Afeau tiene una adecuada condición cardiovascular y que supera los valores medios de la población general (ligeramente mejor en el grupo del 2018).

**Palabras clave:** ergoespirometría, consumo máximo de oxígeno, resistencia cardiovascular

## Introducción

En este estudio se describe la resistencia cardiovascular como uno de los componentes de la aptitud física relacionados con la salud (1). Específicamente, se mide el consumo de oxígeno a través de la ergoespirometría en tapiz rodante en una población especial dentro de la Agrupación de Fuerzas Especiales Antiterroristas Urbanas (Afeau) de las Fuerzas Armadas Colombianas. La variable más importante en la realización de la prueba física es el consumo de oxígeno máximo, el cual se entiende como “la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo” (2), y consiste en el producto del gasto cardíaco máximo (litros de sangre por minuto  $\cdot$  l) y la diferencia de oxígeno arterio-venoso (mL oxígeno por litros de sangre) (1).

Teniendo en cuenta que el consumo de oxígeno máximo se ha considerado un medio para evaluar las adaptaciones al entrenamiento de resistencia cardiovascular (3), caracterizar esta población permite tener una medición objetiva de su condición cardiovascular y hacer comparaciones con los resultados de consumo de oxígeno por ergoespirometrías de otras poblaciones militares. Entre los datos analizados en esta investigación se incluyó información sobre edad, talla y peso para tener un mejor conocimiento de la población. Asimismo, con base en los reportes de la ergoespirometría se evaluó consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca y velocidad máxima en la prueba, datos que no solo ayudan a evaluar el grado de entrenamiento en relación con la condición cardiovascular, sino que además constituyen un insumo para plantear sugerencias al programa de entrenamiento.

De acuerdo con la literatura, el consumo de oxígeno máximo es un indicador de la capacidad funcional de un individuo y depende de diversos factores: la genética, que es el mayor condicionante, determina hasta el 70

%; la edad, el sexo, la masa y la composición corporal pueden afectar hasta el 50 %, mientras que el grado de entrenamiento o de acondicionamiento físico pueden mejorar los indicadores hasta en el 20 % (2, 3). Los valores esperados para hombres de entre 20 y 40 años son de 35 a 45 mL / kg / min, y dependiendo del tipo de entrenamiento puede oscilar entre 40 y 80 mL / kg / min (2). También es importante resaltar que un componente del consumo de oxígeno es el gasto cardiaco, que se calcula como el producto de la frecuencia cardiaca y el volumen sistólico, los cuales aumentan con la actividad física. Por su parte, la respuesta de la frecuencia cardiaca depende de la edad y del entrenamiento: cuanto mayor es el entrenamiento, mayor es la respuesta (4), y es una de las variables que se miden durante toda la prueba de ergoespirometría.

## Metodología

Es una descripción retrospectiva de los resultados de la prueba de ergoespirometría en tapiz rodante con un protocolo progresivo e incremental tipo Bruce modificado, que consta de tres etapas: 1) calentamiento (con velocidad constante de 4 km / h y con inclinación de 1% durante dos minutos), 2) aplicación de los estadios (iniciando desde 7 km / h con aumento de 1,6 km cada minuto, con inclinación constante de 1%) y 4) recuperación (descenso progresivo de la velocidad hasta regresar a 4 km / h, manteniendo inclinación de 1%). Estas pruebas fueron realizadas a dos grupos diferentes en dos periodos: el primero con cuatro integrantes, medidos en diciembre del 2016 y el segundo con cinco individuos en mayo de 2018. Dichas ergoespirometrías fueron tomadas en el laboratorio del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi) de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) por el personal del grupo de investigación de la misma institución e interpretado por el médico del deporte del Cicfi. Las pruebas fueron realizadas en su totalidad por los integrantes de la Agrupación de Fuerzas Especiales Antiterroristas Urbanas (Afeau), pero no se incluyó una prueba del grupo de 2018 por ser parcial. Específicamente,

se valoraron las siguientes variables: consumo de oxígeno en el umbral y el máximo; la frecuencia cardiaca al umbral y al máximo, y la velocidad máxima alcanzada en la prueba. El equipo utilizado fue el Ergoespirómetro Metalyzer 3B-R2 y tapiz rodante marca HP Cosmos. Con la información obtenida se realizó un análisis descriptivo en el programa estadístico Stata 13. Los datos se muestran como medianas y rangos intercuartílicos (RIC) dado el pequeño tamaño de muestra.

## Resultados

Se incluyeron nueve miembros de la Afeau durante los periodos 2016 y 2018, a quienes se les midió consumo de oxígeno con ergoespirometría en tapiz rodante. En el año 2016 se incluyó el 44.44% de la población y en 2018 el 55.56%

La mediana de edad de los participantes fue de 34 años (RIC = 31-34), la mediana de la talla y el peso fue 1,69 metros (RIC = 1,66-1,72) y 69 kilogramos (RIC = 66-72), respectivamente. En la tabla 1 se resumen las características básicas de la población de estudio dividida según el año (2016 y 2018).

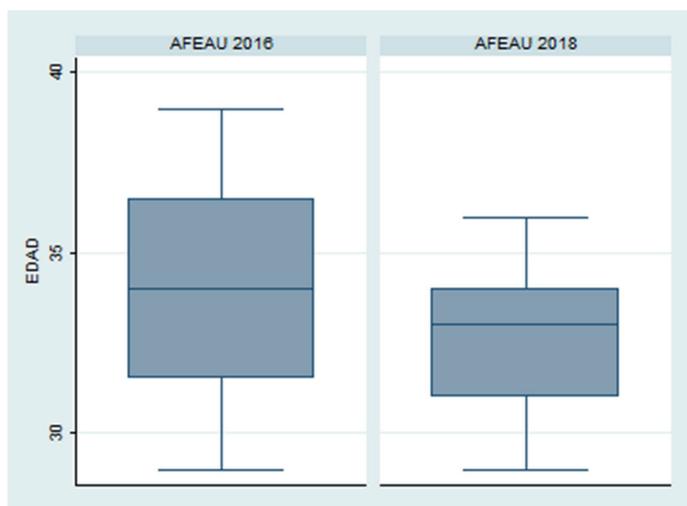
**Tabla 1.** Características de la población

| Año   | Variable    | Mediana | RIC*        | Mínimo | Máximo |
|-------|-------------|---------|-------------|--------|--------|
| 2016  | Talla (m)   | 1,68    | 1,63 - 1,73 | 1,6    | 1,76   |
|       | Peso (Kg)   | 67,5    | 62,0 - 70,5 | 58     | 72     |
|       | Edad (años) | 34      | 31,5 - 36,5 | 29     | 39     |
| 2018  | Talla (m)   | 1,69    | 1,66 - 1,72 | 1,65   | 1,76   |
|       | Peso (Kg)   | 69      | 67,0 - 74,0 | 61     | 75     |
|       | Edad (años) | 33      | 31,0 - 34,0 | 29     | 36     |
| Total | Talla (m)   | 1,69    | 1,66 - 1,72 | 1,6    | 1,76   |
|       | Peso (Kg)   | 69      | 66,0 - 72,0 | 58     | 75     |
|       | Edad (años) | 34      | 31,0 - 34,0 | 29     | 39     |

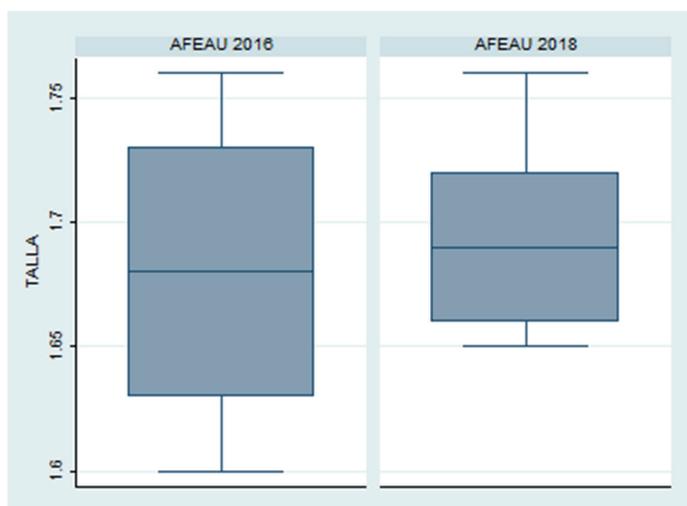
\* RIC: rango intercuartílico.

Fuente: Original de los autores.

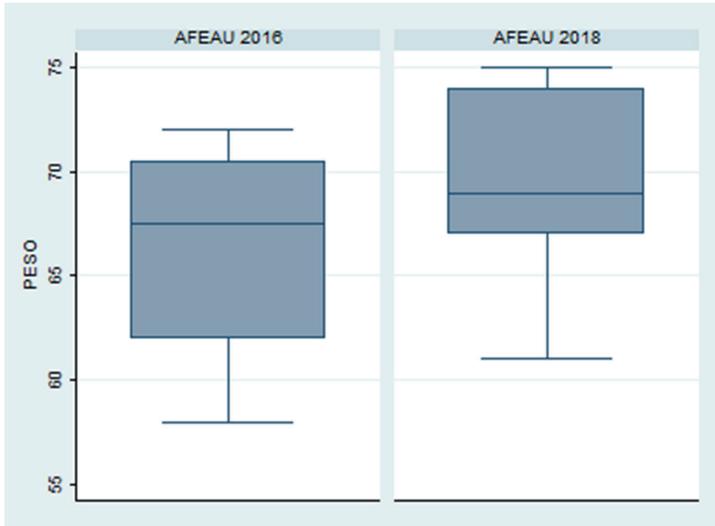
Los individuos medidos durante el año 2018 presentaron una menor mediana de edad (figura 1), pero a su vez una mayor mediana de talla (figura 2) y peso (figura 3).



**Figura 1.** Distribución de la edad (años) según el año de ingreso al estudio. Fuente: Original de los autores.



**Figura 2.** Distribución de la talla (m) según el año de ingreso al estudio. Fuente: Original de los autores.



**Figura 3.** Distribución del peso (kg) según el año de ingreso al estudio.  
Fuente: Original de los autores.

En la tabla 2 se presentan las mediciones de la condición respiratoria del consumo de oxígeno por ergoespirometría. Aquí se puede observar en el total de la población que el consumo mediano de oxígeno en el umbral y máximo de los participantes fue de 39 (RIC = 37-45) y 45 (RIC = 43-50) mL/ min / kg, respectivamente. Por su parte, la frecuencia cardíaca mediana en el umbral fue de 155 Ipm (RIC = 152-158), mientras que la mediana de la frecuencia máxima alcanzó los 174 Ipm (RIC = 166-176). La velocidad máxima realizada en la prueba obtuvo una mediana de 18,5 km / h (RIC = 18,5-20,1).

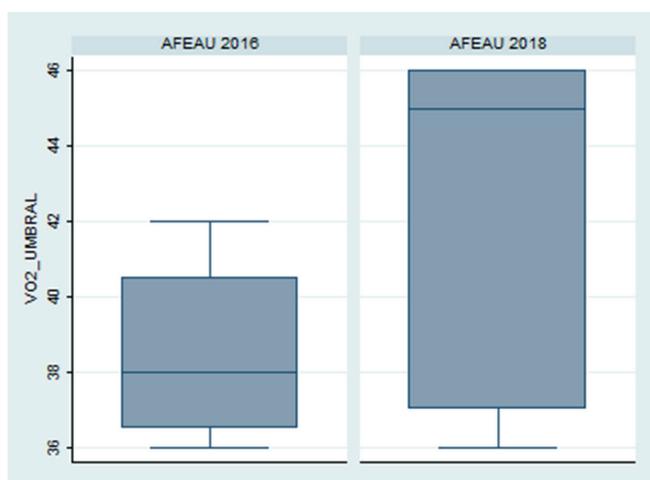
El grupo de participantes del año 2018 obtuvo mayores valores medianos del consumo de oxígeno en el umbral (figura 4) y máximo (figura 5), comparado con los participantes del 2016.

**Tabla 2.** Características clínicas

| Año          | Variable                               | Mediana | RIC*          | Mínimo | Máximo |
|--------------|----------------------------------------|---------|---------------|--------|--------|
| 2016         | VO <sub>2</sub> umbral (mL / min /kg)  | 38      | 36,5 - 40,5   | 36     | 42     |
|              | VO <sub>2</sub> máximo (mL / min / kg) | 44,5    | 43,0 - 48,0   | 42     | 51     |
|              | FC umbral (Ipm)                        | 158,5   | 152,0 - 169,0 | 152    | 173    |
|              | FC máxima (Ipm)                        | 176,5   | 166,5 - 179,0 | 159    | 179    |
|              | Velocidad máxima (km / h)              | 18,5    | 18,5 - 19,3   | 18,5   | 20,1   |
| 2018         | VO <sub>2</sub> umbral (mL / min / kg) | 45      | 37,0 - 46,0   | 36     | 46     |
|              | VO <sub>2</sub> máximo (mL / min / kg) | 48      | 43,0 - 50,0   | 41     | 53     |
|              | FC umbral (Ipm)                        | 155     | 152 - 158     | 152    | 158    |
|              | FC máxima (Ipm)                        | 168     | 166,0 - 175,0 | 159    | 176    |
|              | Velocidad máxima (km / h)              | 20,1    | 18,5 - 20,1   | 16,9   | 20,1   |
| <b>Total</b> | VO <sub>2</sub> umbral (mL / min / kg) | 39      | 37,0 - 45,0   | 36     | 46     |
|              | VO <sub>2</sub> máximo (mL / min / kg) | 45      | 43,0 - 50,0   | 41     | 53     |
|              | FC umbral (Ipm)                        | 155     | 152,0 - 158,0 | 152    | 173    |
|              | FC máxima (Ipm)                        | 174     | 166,0 - 176,0 | 159    | 179    |
|              | Velocidad máxima (km / h)              | 18,5    | 18,5 - 20,1   | 16,9   | 20,1   |

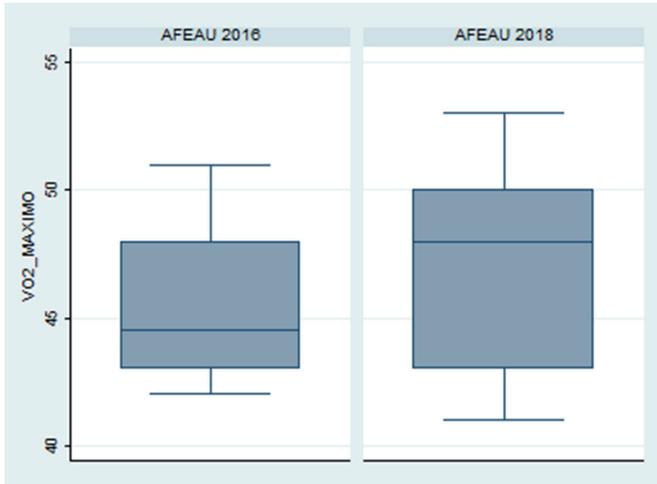
\* RIC: rango intercuartílico.

Fuente: Original de los autores.



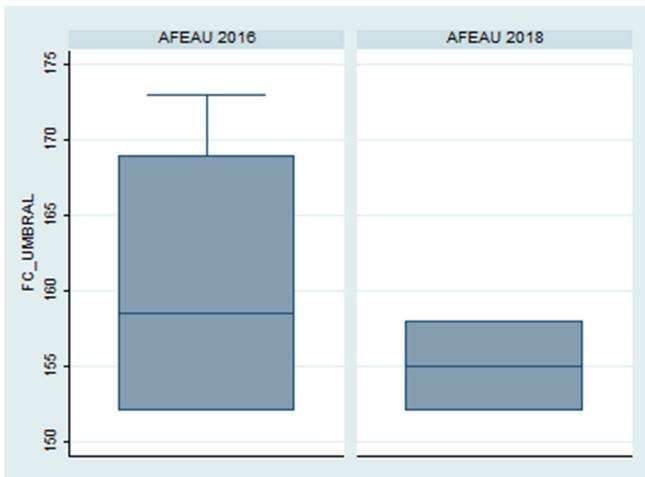
**Figura 4.** Distribución del consumo de oxígeno en el umbral (mL / min / kg) según el año de ingreso al estudio.

Fuente: Original de los autores.

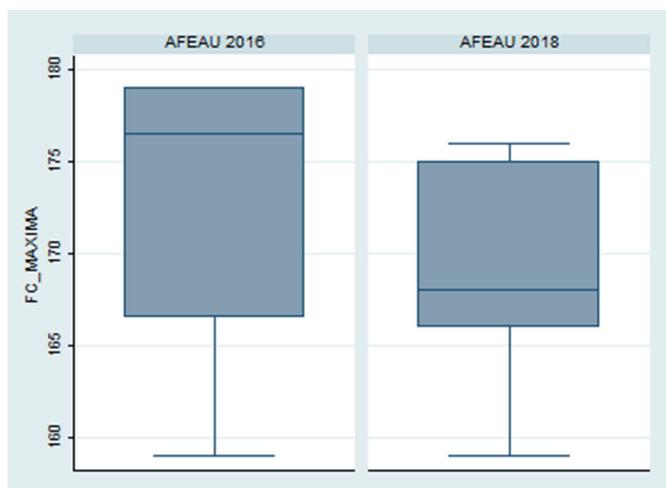


**Figura 5.** Distribución del consumo de oxígeno máximo (mL / min / kg) según el año de ingreso al estudio.  
Fuente: Original de los autores.

Por su parte, el grupo de participantes del año 2016 obtuvo mayores valores medianos de la frecuencia cardíaca en el umbral (figura 6) y máxima (figura 7).



**Figura 6.** Distribución de la frecuencia cardíaca en el umbral (lpm) según el año de ingreso al estudio.  
Fuente: Original de los autores.



**Figura 7.** Distribución de la frecuencia cardíaca máxima (Ipm) según el año de ingreso al estudio.

Fuente: Original de los autores.

Otro parámetro que se evaluó con los datos obtenidos del consumo de oxígeno y de la frecuencia cardíaca es el segundo umbral ventilatorio representado por el porcentaje de los valores máximos en los cuales se cumplen los criterios fisiológicos que nos indican un cambio en el predominio de metabolismo glucolítico a oxidativo, esto con el fin de dar recomendaciones de trabajo en el entrenamiento para mejorar la resistencia cardiovascular. Respecto al consumo de oxígeno se observó que los valores de los porcentajes al umbral fueron todos superiores al 81 %, mientras que los porcentajes de la frecuencia cardíaca máxima —que es la más utilizada para hacer modificaciones en el entrenamiento por su facilidad en la monitorización— en que se logró el umbral fueron superiores al 86 %, con 6 de las 9 mediciones por encima del 90 %.

## Discusión

Las dos agrupaciones evaluadas tienden a ser similares en edad, talla y peso, con resultados también similares de consumo de oxígeno máximo por

rangos intercuartílicos de 43-48 mL / kg / min en el grupo Afeau 2016 y de 43-50 mL / kg / min en el grupo Afeau 2018. Los valores se encuentran ligeramente por encima de los rangos esperados (35-45 mL / kg / min) en hombres sanos de 20 a 40 años (2), pero con diferencias en las medianas de 44,5 mL / kg / min para el grupo Afeau 2016 y de 48 mL / kg / min para el Afeau 2018, lo cual muestra una mejor condición física cardiovascular en el grupo de 2018. Con respecto al consumo de oxígeno al umbral, que es el punto de cambio metabólico entre lo estable y lo inestable (5), hay diferencia tanto en las medianas como en los rangos intercuartílicos con mediana de 38 mL / kg / min con RIC de 36,5-40,5 mL / kg / min para el grupo de Afeau del 2016 y mediana de 45 mL / kg / min con RIC de 37-46 mL / kg / min para el grupo de Afeau del 2018, lo cual evidencia que el grupo del 2018 tiene mejor condición cardiovascular. Esta cualidad es de suma importancia, pues en esta población el desempeño efectivo de sus tareas incluye diferentes destrezas y capacidades mentales y físicas. Tal hallazgo coincide con la revisión de literatura, en el sentido de que una adecuada aptitud física cardiovascular, al igual que programas de fuerza (6-8), les permiten a los individuos poner a prueba su entrenamiento, tanto en las tareas comunes, como en competencias militares internacionales, así como lograr sus tareas y objetivos (7-9).

Asimismo, se debe tener en cuenta que en este estudio solamente se hizo una medición del consumo de oxígeno máximo y al umbral de esta población cuando ya había cumplido su entrenamiento, es decir, no se cuenta con mediciones iniciales previas a su proceso de formación física. Esta circunstancia limita la posibilidad de evaluar el impacto de la preparación física recibida, como se reporta en estudios con población que presta el servicio militar obligatorio. En dichas investigaciones, las mediciones *pre* y *post* entrenamiento reportan que el acondicionamiento físico puede considerarse bajo si se quiere mejorar la resistencia en el personal militar, pues se encontró que el  $VO_{2max}$  aumentó 5 % solo en los sujetos con el  $VO_{2max}$  inicial bajo, sin cambios en los sujetos con  $VO_{2max}$  medios, mientras que en los sujetos con el nivel inicial más alto tendieron a disminuir (10). A diferencia del ante-

rior, otro estudio con 72 reclutas sí reportó mejoría significativa del  $VO_{2max}$  con un entrenamiento básico de ocho semanas combinado con ejercicios de resistencia o entrenamiento de fuerza (11).

Finalmente, cabe señalar que así como Canadá, Holanda, Reino Unido y Estados Unidos han caracterizado su población militar en relación con el entrenamiento y han señalado la importancia de una adecuada condición física (7), esta investigación sobre la condición cardiovascular con medición del consumo de oxígeno máximo por medio de ergoespirometría de una población especial de la Afeau hace aportes que contribuyen al conocimiento y comprensión de la población militar colombiana.

## Conclusiones

Los resultados mostraron que en general la población analizada de la Afeau tiene una adecuada condición cardiovascular y que supera los valores medios de la población general (ligeramente mejor en el grupo del 2018). No obstante, se desconoce el impacto del entrenamiento que recibe porque no se cuenta con una línea de base. En este sentido, es necesario conocer el tipo y las cargas de entrenamiento, comparar los resultados con otros parámetros como composición corporal y mediciones del consumo de oxígeno antes del inicio del entrenamiento y con seguimiento en el tiempo, lo cual sería de gran importancia en caracterizaciones futuras.

## Referencias

1. Riebe D, Ehrman JK, Liguori G., Magal M. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription from american college of sports medicine. Editorial Philadelphia: Wolters Kluwer; 2018.
2. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3.<sup>a</sup> ed. Bogotá, D. C.: Editorial Médica Panamericana; 2006. 1005 p.
3. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del deporte y el ejercicio. 5.<sup>a</sup> ed. Bogotá, D. C.: Editorial Médica Panamericana; 2014. 575 p.
4. Narvani AA, Thomas P, Lynn B. Key topics in sports medicine. Reino Unido: Routledge Taylor & Francis, 2006.

5. Serrato Roa M. Medicina del deporte. 1.<sup>a</sup> ed. Bogotá, D. C.: Universidad del Rosario. 2008.
6. Harman EA, Gutekunst DJ, Frykman PN, Nindl BC, Alemany JA, Mello RP, Sharp MA. Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. *J Strength Con Res.* 2008 marzo; 22 (2): 524-534. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816347b6>
7. Task Group 019. Optimizing operational physical fitness. North Atlantic Treaty Organisation. 2009 enero. Reporte No: RTO-TR-HFM-080. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.214.8364&rep=rep1&ctype=pdf>
8. Vickers RR, Amanda Jr, Barnard C. Effects of physical training in military populations: a meta-analytic summary. San Diego, (CA): Naval Health Research Center; 2010 octubre 10. Reporte No: NHRC-11-17. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/62c8/3a11c39b9401acb8a066885e467831479f0a.pdf>
9. Ejército Nacional de Colombia. Mejor equipo fuerzas comando 2018, categoría imagen institucional. *Revista Ejército*, 2018; 199. Disponible en: [https://dicoe.mil.co/revista\\_ejercito/revista/Revista\\_199/mejor-equipo-fuerzas-comando-2018.html](https://dicoe.mil.co/revista_ejercito/revista/Revista_199/mejor-equipo-fuerzas-comando-2018.html)
10. Dyrstad SM, Soltvedt R, Hallén J. Physical fitness and physical training during Norwegian military service. *Mil. Med.* 2006 agosto; 171 (8): 736-741. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed.171.8.736>
11. Santtila M, Häkkinen K, Karavirta L, Kyröläinen H. Changes in Cardiovascular Performance during an 8-week military basic training period combined with added endurance or strength training. *Mil. Med.* 2008 diciembre; 173 (12): 1173-1179. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed.173.12.1173>

# Relación entre la flexibilidad lumbar e isquiotibial en pentatletas de la Escuela Militar de Cadetes

6

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.06>

*Diego Fabricio Rodríguez-Camacho<sup>1</sup>*  
*Juan Felipe Correa-Mesa<sup>2</sup>*

## Resumen

**Objetivo:** estimar la relación entre los resultados de las pruebas Sit and Reach, la prueba de Schober y la prueba pasiva de elevación de la pierna recta (PEPR) en siete pentatletas de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (ESMIC) de Bogotá, D. C. Colombia. **Métodos y materiales:** el estudio fue de tipo descriptivo, de asociación y diseño transeccional, que buscó determinar en un momento preciso la relación entre los resultados de la aplicación de la prueba de Sit and Reach, la prueba de Schober y la prueba pasiva de elevación de la pierna recta. (PEPR) en pentatletas de la ESMIC. La muestra incluyó siete participantes, seleccionados a conveniencia. **Resultados:** en lo que respecta a la flexión lumbar, los sujetos obtuvieron un valor promedio de 4,14 cm, con desviación estándar de 0,87. Para la extensión lumbar se encontró que todos los sujetos se encuentran debajo de los parámetros normales, con un promedio de 1,21 cm y desviación estándar de 0,58. En la elasticidad isquiotibial se observó que, a excepción de dos sujetos, toda la muestra presenta acortamiento muscular moderado a severo. El promedio de resultado fue similar en las extremidades derecha e izquierda con promedios de 33,1° y 33,3°, respectivamente. Al aplicar el test de Sit and Reach se halló un resultado promedio de 9,91 cm, valor que está por debajo del rango mínimo aceptado. **Conclusiones:** sobre la base de la muestra medida en este estudio se

---

1 Fisioterapeuta, MSc. Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física. Grupo de Investigación Rendimiento Físico Militar (Renfimil), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D.C., Colombia. Contacto: diefrodriguezcam@unal.edu.co - <https://orcid.org/0000-0002-7244-8926>

2 Fisioterapeuta, MSc. Fisioterapia del Deporte y la Actividad Física. Contacto: juanforreames@unal.edu.co - <https://orcid.org/0000-0001-9003-966X>

puede afirmar que no existe una relación entre las diferentes pruebas de flexibilidad, con la excepción de la prueba de Sit and Reach y la flexibilidad de la pierna izquierda, que tienen una correlación negativa. Por lo tanto, la caracterización de la flexibilidad requiere varias medidas complementarias para analizar y justificar las disfunciones en la cadena posterior.

**Palabras clave:** flexibilidad muscular, Deporte, Rango de movimiento, músculos isquiotibiales.

## Introducción

La flexibilidad es una capacidad física involucrada en la práctica deportiva, y al igual que la fuerza, la potencia y la resistencia, debe entrenarse en espacios planificados y cuantificados con el fin de mejorar el rango de movimiento articular (1). Ahora bien, en la literatura se han reportado distintos beneficios de trabajar la flexibilidad, dentro de los cuales se encuentran cambios térmicos en el tejido conectivo, disminución del dolor, prevención de lesiones e incluso se considera la estrategia predilecta en diversos deportes para la activación y vuelta a la calma. No obstante, actualmente se han debatido estos beneficios debido a la diversidad de posturas en relación con la comprensión del concepto, ya que se han confundido las características extrínsecas e intrínsecas que influyen y las estrategias terapéuticas utilizadas para mejorar el rango de movimiento articular (1, 2).

De hecho, en el lenguaje cotidiano se utilizan los conceptos de *flexibilidad* y *estiramientos* como sinónimos. Sin embargo, se debe aclarar que la flexibilidad hace referencia al factor intrínseco característico de cada persona que involucra los distintos componentes intra- y extraarticulares (hueso, cartílago, ligamento, músculo, tendón, fascia y piel) y que se traduce en la capacidad de una articulación o conjunto de articulaciones para llevar a cabo un rango de movimiento en un plano y eje específicos (3). En contraste, el estiramiento es un factor extrínseco, modificable y que se utiliza de manera habitual dentro del trabajo de calentamiento y vuelta a la calma en el deporte, así como para prevenir las lesiones y mejorar el rendimiento del atleta (4).

Ahora bien, dentro del tema de flexibilidad se debe abordar el de estiramiento, el cual genera los siguientes efectos agudos: por un lado, los cono-

cidos como viscoelásticos, los cuales están asociados a los cambios en el rango de movimiento y resistencia al estiramiento debido a cambios en la relajación del estrés, fluencia e histéresis del tejido. Por otro lado, los efectos neurales resultan de la disminución de los índices de excitabilidad de las motoneuronas, que como efecto magno producen relajación y disminución de la capacidad para producir potencia durante la actividad deportiva, aunque se genera un alargamiento temporal del músculo (4, 5).

No obstante, como se mencionó, también se encuentran distintas posturas en relación con los beneficios del estiramiento, teniendo en cuenta que las lesiones musculares son citadas como las más frecuentes en la práctica deportiva. Por ejemplo, estudios epidemiológicos han reportado que la disminución de la flexibilidad constituye un factor de riesgo para que se genere una lesión muscular aguda, y por tanto debe ser entrenada como elemento protector (6). Sin embargo, también se han utilizado estudios *in vitro* para argumentar los cambios en la viscoelasticidad miotendinosa por el incremento excesivo de la temperatura en el músculo previo a la actividad, lo cual disminuye su capacidad para absorber la energía y puede generar una lesión. De esta manera, aunque la información encontrada difiere entre los autores, se requiere precisar la modalidad o técnica de estiramiento aplicada y cuál es su respuesta (6).

En este contexto, la literatura reporta que las variantes del estiramiento más referidas son la estática y dinámica, las cuales generan diferentes efectos. Por ejemplo, en los estiramientos estáticos se afecta principalmente la fase excéntrica del movimiento debido a un cambio en el ciclo de alargamiento-acortamiento, en el cual se disminuye el retroceso elástico y la rigidez de la unión miotendinosa, que es necesaria para almacenar la energía elástica. En consecuencia, el resultado obtenido, sumado a la inhibición de las motoneuronas por depresión del reflejo H, es la disminución de la capacidad de producción de la potencia en el músculo estirado, lo que además favorece el desbalance con el músculo antagonista debido a la inhibición recíproca (5).

Además, autores como Alikhajeh et al. mencionan que la disminución del rendimiento que ocasiona el estiramiento pasivo se debe a que este

aumenta el compliance de la unidad musculotendinosa, lo cual disminuye su rigidez y por tanto reduce el desarrollo de la fuerza. Adicionalmente, esta respuesta genera inhibición neural y disminución del impulso neural hacia el músculo, lo cual trae como consecuencia la reducción en la producción de potencia (5).

En otros estudios se ha encontrado que el estiramiento estático tiene implicaciones negativas para el desempeño de actividades que exijan potencia, por ejemplo, el salto: en el drop jump se evidencia una disminución en la altura de 4,4 % a 7 % y en squat jump de 4,3 % a 4 %, así como una disminución de la fuerza de contracción máxima voluntaria del 9,5 %. Sin embargo, dado que no son claros los parámetros ni las técnicas con las cuales se abordó la flexibilidad en estas investigaciones, se puede afirmar que su justificación continúa siendo controversial (7-10).

Por lo contrario, el estiramiento dinámico utilizado previo a la actividad genera aumento de la temperatura central a partir de movimientos que preparan y estimulan la coordinación de patrones de movimiento asociados con el gesto deportivo. Esto incrementa a su vez la sensibilidad de los receptores nerviosos, aumenta la velocidad del impulso nervioso y, por tanto, genera contracciones musculares más rápidas y eficientes, lo cual brinda insumos importantes para que el individuo adopte posturas simples y complejas propias del deporte (5). Estas características hacen que este tipo de estiramiento brinde beneficios preventivos al deportista, considerando que se expone a sufrir lesiones musculoesqueléticas desde el momento en que comienza la práctica deportiva (11).

Ahora bien, teniendo en cuenta que la flexibilidad implica una compleja coordinación entre estructuras de tejido conectivo, y que se comprende como una cualidad física condicional, es necesario entonces que sea estimulada por medio de un proceso planificado y con objetivos puntuales. Así lo argumenta el trabajo de Ayala et al., quienes reportan mejoría en el rango de movimiento de cadera luego de un programa de estiramientos activos durante doce semanas en una frecuencia de tres veces por semana con dosis diarias de 180 segundos en personas con y sin retracción de músculos isquiotibiales

(12). Sin embargo, se debe tener en cuenta que para identificar el verdadero impacto que tiene entrenar la flexibilidad mediante el estiramiento, es indispensable que en la práctica profesional se utilicen las herramientas apropiadas para medirla y garantizar las estrategias terapéuticas correctivas.

Acorde con lo anterior, dentro de los distintos procesos de caracterización deportiva y valoraciones preparticipación, la medición de la flexibilidad como cualidad física condicional resulta fundamental para identificar factores de riesgo que influyan en el gesto deportivo. Por esta razón, en la práctica clínica se ha incluido frecuentemente la medición de la cadena muscular posterior de manera longitudinal con énfasis en la zona isquiotibial y lumbar baja por medio del test Sit and Reach, el cual se ha convertido en un elemento preferente para los distintos profesionales que interactúan en el deporte debido a su fácil aplicación y su elevada fiabilidad relativa intraexaminador (0,89-0,99) (13, 14).

Sin embargo, aunque el test de Sit and Reach tiene validez de criterio media moderada para estimar la flexibilidad isquiotibial ( $rp = 0,46-0,67$ ), y media baja para estimar la flexibilidad lumbar ( $rp = 0,16-0,35$ ) (15), en la práctica profesional se puede generar confusión en relación con las causas por las cuales se obtienen resultados cuantitativos bajos cuando se aplica el test. Esto se debe a que la prueba involucra el componente postural y la estimulación de la cadena muscular posterior de tronco, de manera que una limitación de esta cadena puede arrojar un falso positivo si el examinado tiene dificultad para posicionarse y ejecutar el test, teniendo en cuenta que esta cadena se complementa en miembro inferior a partir de la articulación de cadera (16).

Asimismo, es probable que se deba discriminar objetiva y cuantitativamente cuál es el componente de la cadena que presenta la disfunción, de tal manera que se cuente con insumos para realizar una evaluación más acertada y con el menor sesgo posible, lo cual resulta indispensable para la prescripción de estiramientos que mejoren la flexibilidad en el deportista y de la población en general. Al respecto, en la literatura se reportan distintas pruebas que corroboran los resultados obtenidos en el test de Sit and Reach:

por ejemplo, se destacan el test de Schober para medir la movilidad en columna lumbar (17) y el test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) o test 90:90, el cual tiene como objetivo medir la elasticidad isquiotibial partiendo de flexión de rodilla a 90° hacia la extensión completa (18).

En respuesta a estas consideraciones, el objetivo de la presente investigación tuvo como finalidad estimar la relación entre los resultados de la aplicación del test de Sit and Reach, test de Schober y test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) en pentatletas de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) de Bogotá, D. C., Colombia.

## Metodología

El estudio fue de tipo descriptivo, de asociación y diseño transeccional, que buscó determinar en un momento específico la relación entre los resultados de la aplicación del test de Sit and Reach, test de Schober y test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) en pentatletas de la Esmic. La muestra incluyó siete participantes, seleccionados a conveniencia. Como criterios de inclusión se tuvieron en cuenta aquellos sujetos que formaban parte de la selección de pentatlón de la Esmic, que fueran de sexo masculino y que hubieran comprendido y diligenciado el consentimiento informado suministrado por el investigador. En los criterios de exclusión se contemplaron todos aquellos factores que pudieran sesgar los resultados de las pruebas: presentar alguna lesión musculoesquelética en la zona dorsolumbar y en miembros inferiores que generaran dificultad para adoptar la posición y ejecutar las pruebas. Así mismo, la práctica simultánea de otro deporte.

Para medir la flexibilidad de columna lumbar se utilizó el test de Schober de acuerdo con el protocolo establecido en la literatura (17); para medir la elasticidad isquiotibial se aplicó el test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) siguiendo los criterios desarrollados para su correcta ejecución (18). Para la medición en conjunto a nivel lumbar e isquiotibial se utilizó el test de Sit and Reach clásico siguiendo las consideraciones y requisitos necesarios para su correcta aplicación descritos en la literatura (12, 15).

En cuanto al análisis de los datos, inicialmente se reportaron los resultados descriptivos procesados en el programa R versión 3.6.0, en el cual se ubicó la información en tablas y se calcularon el promedio y desviación estándar para cada variable. Adicionalmente, para el análisis correlacional de las variables se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson, el cual es una prueba estadística que permite identificar el grado de relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos (19).

Las consideraciones éticas se basaron en el artículo 11 de la Resolución N.º 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, con base en el cual este estudio se clasifica en la categoría de riesgo mínimo, por cuanto se llevaron a cabo procedimientos rutinarios y comunes que no manipularon la conducta de los sujetos (20). También se contemplaron los principios éticos de la declaración de Helsinki para investigaciones médicas en seres humanos (21).

## Resultados

Durante la aplicación de los test se encontró que, en lo que respecta a la flexión lumbar, los sujetos obtuvieron un valor promedio de 4,14 cm con desviación estándar de 0,87, lo cual evidencia que la mayoría de la muestra se encuentra dentro de rangos normales, a excepción de un sujeto que solamente logró 2,5 cm de flexión. Para la extensión lumbar se encontró que todos los sujetos se encuentran debajo de los parámetros normales, con un promedio de 1,21 cm y desviación estándar de 0,58 (tabla 1).

**Tabla 1.** Resultados de los test Schober, PEPR y Sit and Reach

| Test utilizado           | Promedio | Desviación estándar |
|--------------------------|----------|---------------------|
| Schober flexión lumbar   | 4,14 cm  | 0,87                |
| Schober extensión lumbar | 1,21 cm  | 0,58                |
| PEPR derecha             | 33,1°    | 10,70               |
| PEPR izquierda           | 33,3°    | 8,64                |
| Sit and Reach            | 9,91 cm  | 5,60                |

Fuente: Original de los autores.

Ahora bien, al medir la elasticidad isquiotibial se observó que, a excepción de dos sujetos, toda la muestra presenta acortamiento muscular moderado a severo, teniendo en cuenta que la literatura acepta como valor límite un ángulo de 20° partiendo de 90° de flexión de rodilla. El promedio de resultados fue similar en las extremidades derecha e izquierda con promedios de 33,1° y 33,3°, respectivamente. Sin embargo, el valor de la desviación estándar aporta evidencia de la variabilidad de los resultados entre los sujetos, ya que se encontraron ángulos de hasta 50° (tabla 1).

Por último, al aplicar el test de Sit and Reach se encontró un resultado promedio de 9,91 cm, valor que está por debajo del rango mínimo aceptado. De acuerdo con este hallazgo y según la clasificación propuesta por el American College of Sports Medicine, todos los sujetos requieren entrenar la flexibilidad. Adicionalmente, se obtuvo una desviación estándar de 5,60 debido a que un sujeto obtuvo un valor de 0 cm durante la prueba (tabla 1).

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación de los datos utilizando el coeficiente de correlación lineal de Pearson, con el fin de medir el grado de relación entre el test de Schober y el test de Sit and Reach, y el test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) con el test de Sit and Reach. Como resultado se obtuvo que el grado de asociación entre el test de Schober y Sit and Reach es muy débil, lo cual permite inferir que no existe una asociación entre el rango de movimiento de flexo-extensión lumbar medido con cinta métrica y la flexión lumbar medida en conjunto con el grupo isquiotibial. Para la correlación entre Sit and Reach y el test de Schober para flexión el valor *p* encontrado fue de 0.5552, lo cual muestra que la hipótesis nula no se puede rechazar y por lo tanto no hay una asociación estadística entre este par de variables.

Asimismo, para observar si la correlación entre Sit and Reach y Schober durante la medición de extensión era significativa, se realizó la misma prueba de hipótesis y se obtuvo un valor *p* de 0.9655, es decir, no se puede rechazar la hipótesis de no asociación.

En lo que respecta al análisis de la relación entre los resultados del test de elevación de la pierna recta (PEPR) y el test de Sit and Reach para la

medición de la elasticidad isquiotibial, se encontró asociación lineal negativa significativa. Esto indica que cuando los sujetos obtienen un resultado mayor en el test de Sit and Reach, menor será el resultado al aplicar el test de elevación de la pierna recta en cuanto a los grados de flexión de la rodilla.

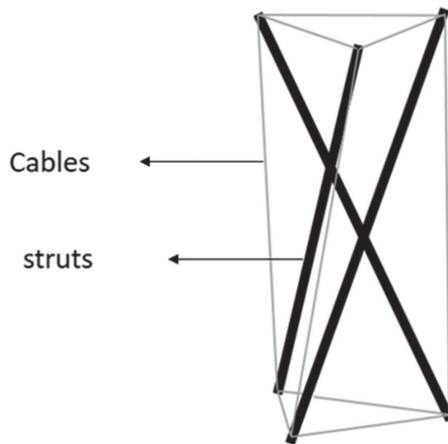
Para determinar si la correlación entre Sit and Reach y la elevación de pierna recta en la extremidad derecha es significativa, se realizó la misma prueba de hipótesis y se obtuvo un valor de  $p = 0.1132$ , es decir que no se puede concluir asociación entre estas dos mediciones. La prueba de hipótesis para la correlación entre Sit and Reach y la pierna izquierda generó un valor  $p = 0.0567$ , lo cual es significativo al 10 %. Esta correlación negativa indica que cuando sea mayor el resultado de Sit and Reach, se esperaría un menor valor para la variable de la elevación de la pierna izquierda.

## Discusión

Como se expuso anteriormente, la flexibilidad es una cualidad física condicional importante para la adecuada ejecución del movimiento y el desempeño durante la práctica deportiva, de manera que para desarrollarla es necesario implementar estrategias adecuadas según el requerimiento de la persona o atleta, así como es fundamental medirla y evaluarla correctamente (1, 13). El objetivo de la presente investigación tuvo como finalidad estimar la relación entre los resultados de la aplicación del test de Sit and Reach, test de Schober y test pasivo de elevación de la pierna recta (PEPR) en pentatletas de la Esmic.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la aplicación del test de Schober se observó que la muestra de pentatletas presenta limitación para el movimiento de extensión de columna lumbar, que puede asociarse a un acortamiento de la cadena muscular posterior de tronco, la cual en condiciones normales permite el posicionamiento y correcto funcionamiento céfalo-caudal respetando las tres leyes del cuerpo a las que hace referencia Busquet: equilibrio, economía y confort (16); además, al considerar el concepto de *tensegridad*, un acortamiento de esta cadena puede tener efectos directos sobre el funcionamiento de las cadenas musculares a nivel

de miembro inferior, así como involucrar al grupo isquiotibial que funciona como soporte posterior cuando la cadena posterior de tronco intenta estabilizar la pelvis durante el mantenimiento de la posición bípeda (16). La tensegridad brinda la explicación del porqué un grupo de cadenas musculares afecta a otro grupo de cadenas distantes, debido a que el cuerpo es un compartimento cerrado con un conjunto de fuerzas que buscan el equilibrio entre la estructura corporal. La tensegridad se refiere a un sistema de autoequilibrio compuesto por un continuo set de cables que resisten a la fuerza de tensión (músculos, tendones, fascia, ligamentos), los cuales transmiten información y están sostenidos por un conjunto de *struts* o barrotes (huesos) (figura 1) (22).



**Figura 1.** Modelo de tensegridad.  
Fuente: Original de los autores.

Sin embargo, a pesar de la continuidad entre la fascia y los músculos que pueden estar anatómicamente distantes entre sí evidenciada en estudios *in vitro*, existe una escasez de literatura sobre el comportamiento *in vivo* de estas conexiones (23). Al aplicar la tensegridad a gran escala por fuera de muestras de tejidos en laboratorios, la explicación de la tensegridad en la práctica mostrada en estudios recientes ha brindado evidencia sobre grandes avances en las alteraciones posturales afectadas por orígenes estruc-

turalmente distantes, inclusive alteraciones en las alineaciones posturales de la espalda baja por lesiones de isquiotibial, como se muestra en un estudio en 34 deportistas de rugby comparados con un grupo control (24).

Por su parte, la prueba de elasticidad isquiotibial mostró que los pentatletas presentan acortamientos de moderados a severos, lo cual evidencia la disfunción mecánica asociada con la cadena de flexión en miembros inferiores. Esto puede desencadenar cambios posturales obligados con el fin de compensar una desventaja mecánica de la cadena antagonista (cadena muscular de extensión), como argumenta Li, con base en indicios de que al estirar los músculos isquiotibiales se puede afectar el movimiento durante la flexión hacia adelante, muestra de la relación agonista-antagonista soportada por la tensegridad en el compartimento del cuerpo humano (25).

Finalmente, los resultados del test de Sit and Reach corroboran los datos obtenidos en las mediciones anteriores, pues demuestran que toda la muestra presenta disminución de la flexibilidad global a nivel lumbar e isquiotibial en conjunto que los hace incapaces de realizar una flexión máxima lumbar con extensión de las rodillas. Estudios recientes han demostrado la relación directa entre el funcionamiento lumbar e isquiotibial: una investigación con treinta sujetos con dolor lumbar clínicamente diagnosticados mostró una disminución significativa en la longitud de los músculos isquiotibiales sin alteraciones de la inclinación pélvica, lo que demuestra una compensación dentro del compartimento corporal por medio por el ajuste de fuerzas sin producir alteraciones posturales significantes (26). De esta manera, al retomar el concepto de *tensegridad* se puede argumentar que el déficit en el test de Sit and Reach es el resultado de disfunciones miofasciales que en conjunto están generando limitaciones para una adecuada elección, ejecución y mantenimiento de posturas complejas propias de su gesto deportivo, de manera que se ven obligados a desarrollar movimientos compensatorios a expensas del exceso de consumo de energía para cumplir con la demanda deportiva y compensar el equilibrio de tensiones (27).

En síntesis, se ha demostrado que la flexibilidad no solo depende del sistema musculo-esquelético, sino que también depende de los tejidos circun-

dantes como fascia, tendones y ligamentos, los cuales forman un sistema holístico que en conjunto afectan la postura o el movimiento en el cuerpo humano (el compartimento cerrado integrado por fuerzas de compresión y tensión) (28).

## **Conclusión**

La flexibilidad como cualidad física condicional es importante para la ejecución del movimiento, la adopción y el mantenimiento de posturas complejas durante la práctica deportiva, por esta razón es necesario medirla con parámetros cuantitativos y válidos que realmente permitan establecer un panorama real de la condición actual del atleta, y de esta manera proponer alternativas terapéuticas para la adquisición y/o desarrollo de parámetros estándar de flexibilidad.

Con base en la muestra medida en este estudio se puede afirmar que no existe una relación entre las diferentes pruebas de flexibilidad, con excepción del test de Sit and Reach y la flexibilidad de la pierna izquierda, los cuales tienen una correlación negativa. Sin embargo, al considerar al cuerpo humano como un sistema de tensegridad, la caracterización de su flexibilidad requiere de mediciones complementarias para analizar y justificar las disfunciones que puedan presentarse para la práctica deportiva.

## **Agradecimientos**

Esta investigación ha sido realizada gracias a la participación y disposición del grupo de investigación Renfamil de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. No existe ningún conflicto de interés declarado por parte de los investigadores.

## **Financiación**

Ninguna declarada por los autores.

## Referencias

1. Johnson AW, Mitchell UH, Meek K, Feland JB. Hamstring flexibility increases the same with 3 or 9 repetitions of stretching held for a total time of 90 s. *Phys. Ther. Sport.* 2014 mayo; 15 (2): 101-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.03.006>
2. Yuktasir B, Kaya F. Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion and jump performance. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2009 enero; 13 (1): 11-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2007.10.001>
3. Hall C M, Brody LT. *Ejercicio terapéutico: recuperación funcional.* Barcelona: Paidotribo; 2006.
4. McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2009 abril; 20 (2): 169-81. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01058.x>
5. Alikhajeh Y, Rahimi NM, Fazeli K, Fazeli H. The effect of different warm up stretch protocols on 20m-sprint performance in trained soccer players. *Procedia - Soc Behav Sci.* 2012; 46: 2210-4.
6. Weldon SM, Hill RH. The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Man. Ther.* 2003 agosto; 8 (3):141-50. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s1356-689x\(03\)00010-9](http://dx.doi.org/10.1016/s1356-689x(03)00010-9)
7. Cronin J, Nash M, Whatman C. The acute effects of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance. *Phys Ther. Sport.* 2008 mayo; 9 (2): 89-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2008.01.003>
8. Nikolaidis PT, Del Coso J, Rosemann T, Knechtle B. Muscle strength and flexibility in male marathon runners: the role of age, running speed and anthropometry. *Front. Physiol.* 2019 octubre; 10: 1301. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.01301>
9. Costa e Silva G, Costa PB, da Conceição RR, Pimenta L, de Almeida RL, Sato MA. Acute effects of different static stretching exercises orders on cardiovascular and autonomic responses. *Sci. Rep.* 2019 octubre; 9 (1): 15738. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-52055-2>
10. Matsuo S, Iwata M, Miyazaki M, Fukaya T, Yamanaka E, Nagata K, et al. Changes in flexibility and force are not different after static versus dynamic stretching. *Sports Med. Int. Open.* 2019 noviembre; 3 (3): E89-95. DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/a-1001-1993>
11. Rosario JL, Foletto Á. Comparative study of stretching modalities in healthy women: Heating and application time. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2015 enero; 19 (1): 3-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.12.003>
12. Ayala F, Sainz de Baranda P, De Ste Croix M, Santonja F. Comparison of active stretching technique in males with normal and limited hamstring flexibility. *Phys. Ther. Sport.* 2013 mayo; 14 (2): 98-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.03.013>
13. Miñarro PAL, Andújar PS de B, García PLR, Toro EO. A comparison of the spine posture among several sit-and-reach test protocols. *J. Sc.i Med. Sport.* 2007 diciembre; 10 (6): 456-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2006.10.003>

14. F. Ayala, P. Sainz de Baranda, M. de Ste Croix y F. Santonja. Fiabilidad y validez de las pruebas sit-and-reach: revisión sistemática. *Rev. Andal. Med. Deporte*. 2012; 5 (2): 57-66.
15. Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Viciano J. Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: a Meta-Analysis. *J Sports Sci Med*. 2014; 13 (1): 1-14. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-fiabilidad-validez-las-pruebas-sit-and-reach-X1888754612495328>
16. Busquet L. Las cadenas musculares. Barcelona: Paidotribo; 2005.
17. Ferraz Pazzinatto M, Valdir Briani R, Bitencourt Oliveira C, Oliveira, Silva D. Testes clínicos para avaliação da coluna lombar e articulação sacroilíaca: revisão de literatura. *ConScientiae Saúde*. 2014; 13 (4): 650-6. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/929/92935317019.pdf>
18. Luque Suárez A, Fuente Hervías MT, Barón López FJ, Labajos Manzanares MT. Relación entre el test de elevación de pierna recta y el test ángulo poplíteo en la medición de la extensibilidad isquiosural. *Fisioterapia*. 2010; 32 (6): 256-63.
19. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. 5.ª ed. México, D.F: McGraw-Hill; 2010. 613 p.
20. Resolución 8493 de 1993 [Internet]. [citado 2 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Paginas/freeseachresults.aspx?k=RESOLUCION%2D8430%2DDE%2D1993%2E>
21. Brugué JC. Guía investigación clínica 2013: aspectos éticos y jurídicos a tener en cuenta en estudios clínicos en fase II y III. *Documenta Universitaria*; 2012. 101 p.
22. Cai J, Wang X, Yang R, Feng J. Mechanical behavior of tensegrity structures with High-mode imperfections. *Mech. Res. Commun*. 2018; 94: 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2018.09.006>
23. Joshi DG, Balthillaya G, Prabhu A. Effect of remote myofascial release on hamstring flexibility in asymptomatic individuals – A randomized clinical trial. *J. Bodyw. Mov. Ther*. 2018 julio; 22 (3): 832-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2018.01.008>
24. Hennessey L, Watson AW. Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br. J. Sports. Med*. 1993 diciembre; 27 (4): 243-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.27.4.243>
25. Li Y, McClure PW, Pratt N. The Effect of hamstring muscle stretching on standing posture and on lumbar and hip motions during forward bending. *Phys. Ther*. 1996 agosto; 76 (8): 836-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/76.8.836>
26. Fasuyi FO, Fabunmi AA, Adegoke BOA. Hamstring muscle length and pelvic tilt range among individuals with and without low back pain. *J. Bodyw. Mov. Ther*. 2017 abril; 21 (2): 246-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2016.06.002>
27. Carreiro J. Posture, balance and movement. En: *An Osteopathic Approach to Children* [Internet]. Elsevier; 2009. p. 147-67. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780443067389000095>
28. DellaGrotte J, Ridi R, Landi M, Stephens J. Postural improvement using core integration to lengthen myofascia. *J. Bodyw. Mov. Ther*. 2008 julio; 12 (3): 231-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2008.04.047>

# Caracterización neuromuscular de miembros inferiores en alumnos de primer nivel de la Escuela Militar de Cadetes

7

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.07>

*María Alejandra Díaz Pinilla<sup>1</sup>*

*Rodrigo Argothy Buchelli<sup>2</sup>*

## Resumen

**Objetivo:** realizar una caracterización del componente neuromuscular de los miembros inferiores, a partir del test de salto contramovimiento, en la población militar que ingresa a la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic). **Materiales y métodos:** se realizó un estudio transversal en 63 estudiantes de primer nivel (45 hombres – 18 mujeres) de la Esmic en el segundo semestre de 2017. Las pruebas de saltabilidad se midieron con dos plataformas de fuerza (Pasco frecuencia de adquisición 1000Hz) uniaxiales y los datos se procesaron mediante el software ForceDekcs. **Resultados:** las variables pico de aterrizaje, pico de fuerza concéntrica, pico de potencia y desaceleración excéntrica fueron significativamente mayores (pvalue < 0,05) en los hombres que en las mujeres. La variable que presenta una mayor diferencia entre géneros es la altura del salto con 35 % de diferencia. A pesar de estas significativas diferencias, los porcentajes de asimetría no difieren entre géneros. Finalmente, las diferencias por género están dadas por características neuromusculares, anatómicas y biomecánicas, las cuales fueron determinadas principalmente por tres variables: altura del salto, pico de potencia y fuerza concéntrica.

**Palabras clave:** salto de contramovimiento, características neuromusculares, miembro inferior.

---

1 MSc. Ingeniería Biomédica. Grupo de investigaciones del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C. Colombia. Contacto: mariaalejandra.diazpinilla@student.kuleuven.be - <https://orcid.org/0000-0002-6811-2055>

2 F.T Grupo de investigaciones del Centro de Investigación de la Cultura Física (Cicfi), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: rargoty@mindeporte.gov.co - <https://orcid.org/0000-0001-9606-4284>

## Introducción

El Ejército Nacional de Colombia está constituido por escuelas militares para preparar a los aspirantes a tener una vida militar, y de esta forma formarlos para que puedan asumir cada reto de la mejor manera (1). Durante la carrera militar los estudiantes están expuestos a altas exigencias físicas, no solo por su intenso entrenamiento militar, sino también por su rutina académica que debe ir acompañada de dedicación, esfuerzo y horas de estudio (2). Además, soportan altas cargas emocionales y psicológicas, lo cual genera alta demanda energética y riesgo de fatiga; es decir, no solamente están expuestos a fatiga física.

Tanto en la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (Esmic) como en diferentes contextos militares se ha encontrado una alta incidencia de lesiones, más específicamente en miembros inferiores, entre las cuales sobresalen estrés tibial medial, esguinces y fisuras (tabla 1). Se evidencia que el estrés tibial medial es la lesión más frecuente en la carrera militar y se debe al aumento en la actividad física a diferentes intensidades, frecuentemente sin la orientación especializada, lo cual genera sobreuso (3). En relación con el entrenamiento militar, Thacker et al. (4) destacan que la mayoría de las lesiones ocurren en extremidades inferiores (entre el 60 % y 80 %), las cuales están altamente relacionadas con sobreuso del aparato locomotor. Además, lo que más preocupa es que del 4 % al 10 % de la población militar en formación básica, es decir entre ocho y 12 semanas de entrenamiento militar, es diagnosticado con estrés tibial medial (5, 6). Una significativa parte de los nuevos estudiantes que vienen de una vida civil presentan síntomas de estrés tibial medio, sin embargo, no es muy claro si esto se debe directamente al entrenamiento militar combinado con las condiciones en las que se realiza el entrenamiento (calzado, carga adicional o las superficies) o, por el contrario, si está relacionado con las características físicas y fisiológicas con las que ingresan los estudiantes a su carrera militar.

**Tabla 1.** Lesiones presentadas en la Esmic

|                | <b>Estrés tibial (%)</b> | <b>Fisura (%)</b> | <b>Esguince (%)</b> | <b>Total (%)</b> |
|----------------|--------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| <b>Nivel 3</b> | 15                       | 6.1               | 1.2                 | 22.3             |
| <b>Nivel 4</b> | 6.9                      | 5.4               | 3.6                 | 15.9             |
| <b>Nivel 5</b> | 12.4                     | 11.2              | 2.2                 | 25.8             |
| <b>Total</b>   | 34.3                     | 22.7              | 7                   | 64               |

Fuente: Tomada de (1).

Un nuevo cadete requiere cierto nivel de estado físico para cumplir con la demanda física que se exige al empezar el entrenamiento militar. Entre los componentes físicos más importantes que se necesitan son: resistencia, fuerza, flexibilidad y movilidad (7). Además, este tipo de entrenamientos están compuestos por movimientos dinámicos que implican sucesivas contracciones excéntricas y concéntricas de los músculos. Por lo tanto, es de vital importancia hacer evaluaciones biomecánicas que permitan monitorear las capacidades mecánicas máximas del sistema neuromuscular, en este caso de miembros inferiores, ya que es donde se presentan la mayor cantidad de lesiones. Entre las pruebas más utilizadas como indicadores de fuerza y potencia anaeróbica de los músculos de las extremidades inferiores se encuentran diversos test de saltabilidad (8) utilizando plataformas de fuerza; los más empleados en los estudios por sus mediciones cuantitativas son el salto de contramovimiento (CMJ) y el squat jump (SJ) (9). Adicionalmente, aunque hay dispositivos que utilizan transductores de velocidad lineal para medir la potencia muscular, varios estudios afirman que estos equipos sobreestiman la velocidad, la fuerza y la potencia (3).

Los test de saltabilidad son los más usados porque saltar es una actividad que requiere una coordinación motora entre los segmentos superiores e inferiores del cuerpo (10). Asimismo, Welsh et al. (11) sostienen que es una actividad que no requiere mucha habilidad, muy segura y reproducible. El CMJ es más usado que el SJ para supervisar el estado neuromuscular de un individuo (12) porque es un movimiento dinámico que involucra acciones musculares concéntricas y excéntricas, mientras que el SJ solo es una acción

concéntrica (13). Igualmente, el CMJ es utilizado no solo porque permite identificar fatiga, asimetrías y compensación (14, 15), sino además porque está posicionado como uno de los test más simples, efectivos y populares (11, 12). Adicionalmente, esta prueba no genera ninguna fatiga, lo cual puede suceder en otras pruebas, afectar el rendimiento de los sujetos y alterar los resultados (11).

Más allá de la facilidad de realizar una prueba de CMJ, Markov et al. (10) afirman que con el CMJ se pueden estudiar las características biomecánicas del salto, lo cual permite analizar las características contráctiles de miembros inferiores. Además, con esta prueba se puede valorar la efectividad del ciclo estiramiento-acortamiento (*stretch-shortening*) a partir de la altura que se alcanza en el salto (10, 15). Sin embargo, lo más interesante de analizar en el CMJ es cómo el salto está relacionado con capacidades neuromusculares de miembros inferiores. Esto se analiza de dos formas muy sencillas: por un lado, como lo mencionan Jiménez-Reyes y González-Badillo (15), la altura del salto es proporcional a la velocidad de despegue, que a su vez es proporcional a la velocidad de acortamiento muscular. Por otro lado, si hay rigidez musculotendinosa o fatiga, se generará menos fuerza, lo que a su vez está relacionado con pérdidas de velocidad y altura a la hora de ejecutar el salto (16).

Por este motivo, el objetivo de este estudio es realizar una caracterización neuromuscular de miembros inferiores de la población militar de primer nivel, con el fin de definir el rendimiento de los estudiantes que ingresan a la Escuela Militar. Así mismo, definir las diferencias neuromusculares de miembros inferiores entre hombres y mujeres, así como sus asimetrías, a partir de un test de saltabilidad. Este estudio permitió determinar si las características basales son las que desencadenan las lesiones o estas se deben a la iniciación de su carrera militar, teniendo en cuenta que durante el entrenamiento están expuestos a diferentes cargas.

## Metodología

Esta investigación se basó en resultados cuantitativos, el diseño de la investigación es transversal y el alcance es de tipo descriptivo.

## **Diseño del estudio**

### **PARTICIPANTES**

Cadetes ingresantes a primer nivel de todas las facultades de la Escuela Militar de Cadetes José María Córdova (Esmic) durante el primer semestre del año 2017 que estuvieran presentes en el momento en que se realizaron las pruebas para recoger los datos del estudio. Todos los participantes fueron previamente invitados a formar parte del estudio de manera voluntaria. En una reunión previa al inicio del protocolo, se les explicó los objetivos, la metodología y todos los por menores del estudio, así como también se les aseguró la confidencialidad de los datos. Los criterios de exclusión a priori planteados para este estudio fueron: sujetos que no hubiesen firmado el consentimiento informado, presentaran neuropatías en la extremidad inferior, displasia de cadera o cualquier patología que afectara su desempeño físico durante la formación militar y las mediciones del CMJ. Por lo tanto, 63 cadetes (45 hombres y 18 mujeres) sanos formaron parte del estudio.

### **PROCEDIMIENTO**

El estudio se realizó en el Centro de la Cultura Física (Cicfi) de la Esmic. Cada sesión tenía una duración de quince minutos aproximadamente. Antes de realizar las pruebas propuestas los cadetes realizaban un calentamiento —trote y activación de miembros inferiores— y al final se hacían unos saltos de contramovimiento (CMJ) de práctica antes de realizar la prueba.

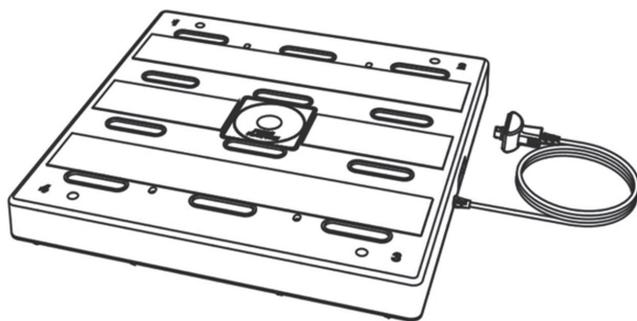
Al inicio de la investigación se registró la edad, el sexo y la procedencia de los participantes, y se les interrogó acerca de sus hábitos de actividad física. Las medidas antropométricas básicas (estatura, peso e Índice de Masa Corporal [IMC]) se tomaron usando instrumentos previamente calibrados (tallímetro SECA mBCA 515/514 y báscula Tanita BC-1500 ANT+Wireless). La altura del salto (cm), la desaceleración excéntrica (ED [N/s\* kg]), la fuerza excéntrica media (EMF [N/kg]), el pico de fuerza concéntrica (PCF [N/kg]), la fuerza pico en el aterrizaje (PLF [N/kg]), pico de potencia (PP [W/kg]) y las asimetrías de PLF (%), ED (%) y PCF (%) se evaluaron a través del CMJ bilateral en la línea de base. Por medio de estas

variables se valoró la función neuromuscular de las extremidades inferiores en las diferentes fases del CMJ.

Antes de su ejecución, se explicó la técnica del salto y los cadetes tuvieron la oportunidad de ensayarlo. Para hacer un salto de CMJ el sujeto se ubica en posición bípeda, se ubican las manos sobre la cintura y se realiza el salto. La fase de descenso se realiza a comodidad del sujeto, el movimiento de descenso y ascenso debe hacerse lo más rápido y potente posible, finalmente, al caer del salto el sujeto recupera la posición y se mantiene en posición bípeda. Cada participante realizó tres intentos válidos y se tomó el promedio para cada una de las variables. Posteriormente, estas fueron ajustadas según el peso corporal de los sujetos ( $N/s$  o  $N$  dividido entre el peso en  $kg$ ).

### INSTRUMENTACIÓN

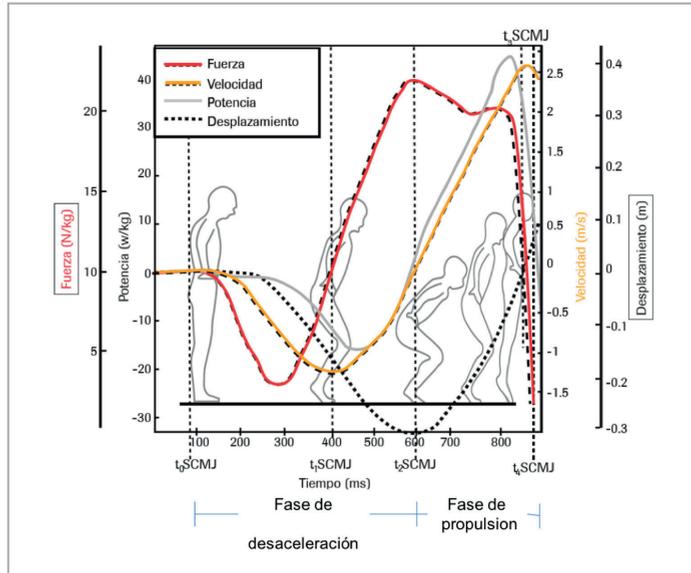
Las pruebas de saltabilidad se midieron con dos plataformas Pasco uniaxiales (una para cada pierna) como la que se muestra en la figura 1. La frecuencia de adquisición de cada plataforma es de 100 Hz. Los datos obtenidos se procesaron mediante el software ForceDekcs.



**Figura 1.** Plataforma uniaxial Pasco.  
Fuente: Tomado de (28).

### ANÁLISIS DE DATOS

Un salto de CMJ está definido en las fases demarcadas en la figura 2, seguida por una fase de vuelo y una fase de aterrizaje. Las variables utilizadas en el estudio que permiten analizar el movimiento completo del salto están resumidas en la tabla 2.



**Figura 2.** Salto vertical de contramovimiento ilustrando dos de sus fases. Fuente: Tomado de (18).

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis fue realizado con SPSS Statistics versión 25 (IBM). Primero es importante mencionar que se utilizaron estadísticas descriptivas para verificar que las variables dependientes cumplieran con el supuesto de distribución normal. El test de normalidad muestra que las variables cumplen con una distribución normal. Luego, para evaluar las diferencias entre género, se realizó un Anova de un factor.

Después se hizo un análisis de componentes principales (ACP) sobre los datos obtenidos de todos los 63 sujetos con el fin de reducir la dimensionalidad de la base de datos, manteniendo la mayor varianza posible y encontrar correlaciones en una base de datos multivariada. El ACP es una técnica que permite extraer información importante de la base de datos y expresarla en un conjunto nuevo de variables llamadas *componentes principales*. Las variables utilizadas para este análisis fueron seleccionadas con el fin de cubrir todas las fases del salto y poder encontrar correlaciones entre ellas. Las variables están descritas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Variables utilizadas para el estudio con sus respectivas unidades de medición y la fase en la que la variable es medida

| <b>Variabes</b>            | <b>Unidades</b>             | <b>Descripción</b>                                                                                              | <b>Fase del salto</b>  |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Desaceleración excéntrica  | Newton/<br>Segundo<br>(N/s) | Fuerza del periodo excéntrico generado durante el alargamiento muscular antagonista dentro del salto realizado. | Fase de desaceleración |
| Pico de potencia           | Watts (W)                   | Máxima generación de fuerza por velocidad durante el salto.                                                     | Fase de propulsión     |
| Pico de fuerza concéntrica | Newton (N)                  | Fuerza que permita superar la fuerza de gravedad y esta relacionada con la actividad muscular (Fuerza máxima)   | Fase de propulsión     |
| Altura del salto           | Centímetro (cm)             | Medición de la longitud del salto.                                                                              | Fase de vuelo          |
| Pico de aterrizaje         | Newton (N)                  | Fuerza de acción del suelo donde la fuerza generada al momento de la caída es dividida por el peso del sujeto.  | Fase de aterrizaje     |

Fuente: Original de los autores para explicar la figura 2.  
Las descripciones de las variables son tomadas de (17).

## Resultados

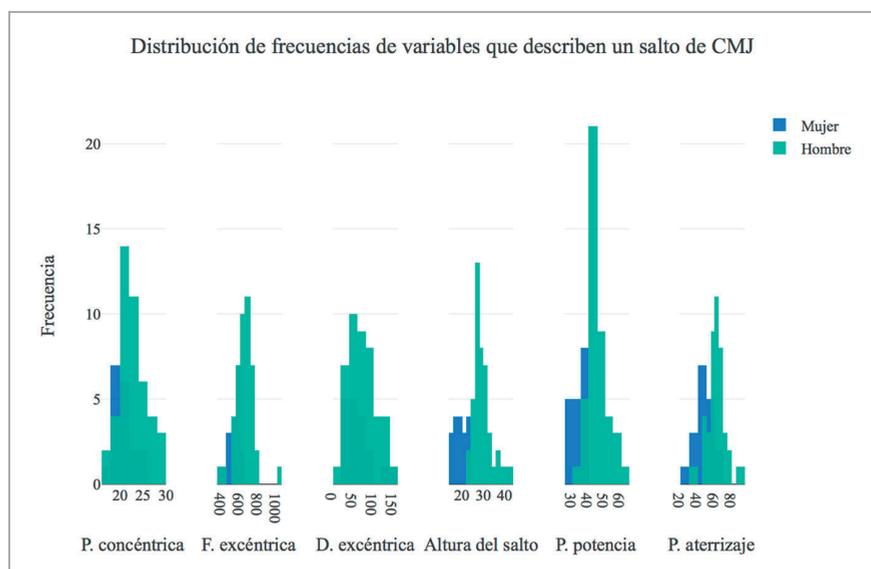
La muestra estuvo conformada por 63 cadetes (45 hombres y 18 mujeres) sanos. Ninguno de ellos presentaba ninguna lesión ni molestia en miembros inferiores. La tabla 3 resume las características físicas principales del grupo de estudio.

**Tabla 3.** Datos antropométricos y estadísticos generales de hombres y mujeres ingresantes a la Esmic: media y desviación estándar

|                | <b>Edad (años)</b> | <b>Altura (m)</b> | <b>Peso (Kg)</b> |
|----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| <b>Mujeres</b> | 18.3 (1.5)         | 1.62 (0.06)       | 54.50 (6.54)     |
| <b>Hombres</b> | 18.9 (1.1)         | 1.73 (0.07)       | 65.18 (8.26)     |

Fuente: Original de los autores.

La figura 3 muestra cómo son las distribuciones de las variables seleccionadas, evaluadas a través del CMJ para el estudio, en hombres y mujeres que ingresaron a la Esmic en el primer semestre de 2017. Todas presentaron una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov;  $p.value > 0,05$ ). Los valores de frecuencia fueron mayores para los hombres porque esta población es mayor que la de mujeres, sin embargo, lo relevante de estos gráficos es evidenciar cómo las distribuciones de las variables para ambos géneros son homogéneas y que las distribuciones de los hombres toman valores mayores, lo cual genera siempre una media y mediana mayor en todas las variables en los hombres. Cabe resaltar que en las mujeres se vieron más valores atípicos porque el número de la población es menor.



**Figura 3.** Distribución de frecuencia de las variables de estudio, comparación entre hombres y mujeres. Orden de los histogramas de izquierda a derecha: Pico de fuerza concéntrica (P. concéntrica), fuerza media excéntrica (F. excéntrica), desaceleración excéntrica (D. excéntrica), altura del salto, pico de potencia (P. potencia) y pico de aterrizaje (P. aterrizaje). Fuente: Original de los autores.

Adicionalmente, la tabla 4 muestra valores más detallados del estudio. Los hombres ingresantes a la escuela saltan 35 % más alto que las mujeres ( $29,68 \pm 4,45$  vs.  $19,08 \pm 2,64$ ). Además, los valores de pico de aterrizaje, pico de fuerza concén-

trica y fuerza media excéntrica fueron significativamente mayores ( $p.value < 0,01$ ) en los hombres que en las mujeres. Adicionalmente, se calcularon los porcentajes de asimetría en la desaceleración excéntrica, fuerza concéntrica y pico de aterrizaje para explicar las asimetrías en tres fases del salto: fase de desacelerado, fase de propulsión y fase de aterrizaje. Aunque estos valores no difieren entre géneros (tabla 5), se evidencia que para ambos géneros los valores de asimetrías más altos se dan en la fase de desaceleración, seguido por la fase de aterrizaje.

**Tabla 4.** Valores de las variables estudiadas (media y desviación estándar) en hombres y mujeres

|                                               | Mujeres        | Hombres        | Diferencia | Mínimo | Máximo |
|-----------------------------------------------|----------------|----------------|------------|--------|--------|
| <b>Pico de potencia (N)</b>                   | 32.88 (4.56)   | 45.14 (5.99)   | 27.16%     | 25.5   | 62.4   |
| <b>Altura del salto (cm)</b>                  | 19.08 (2.64)   | 29.68 (4.45)   | 35.71%     | 14.9   | 43.5   |
| <b>Pico de aterrizaje (N/kg)</b>              | 48.22 (10.32)  | 61.04 (11.16)  | 21.00%     | 28     | 93     |
| <b>Pico fuerza concéntrica (N/kg)</b>         | 20.61 (2.28)   | 22.76 (2.86)   | 9.45%      | 17.6   | 28.9   |
| <b>Desaceleración excéntrica-RFD (N/s*Kg)</b> | 64.77 (30.33)  | 73.19 (32.75)  | 11.50%     | 23     | 154    |
| <b>Fuerza media excéntrica (N/Kg)</b>         | 525.72 (65.42) | 640.27 (97.78) | 17.89%     | 376    | 1000   |

Fuente: Original de los autores.

Luego se utilizó un análisis de componentes principales con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos, encontrar correlaciones entre las variables y establecer patrones que permitan diferenciar entre géneros. Como el ACP es una transformación del sistema de coordenadas originales en un sistema de coordenadas nuevo (PCs), los coeficientes representan vectores que permiten visualizar relaciones entre las variables originales con el sistema

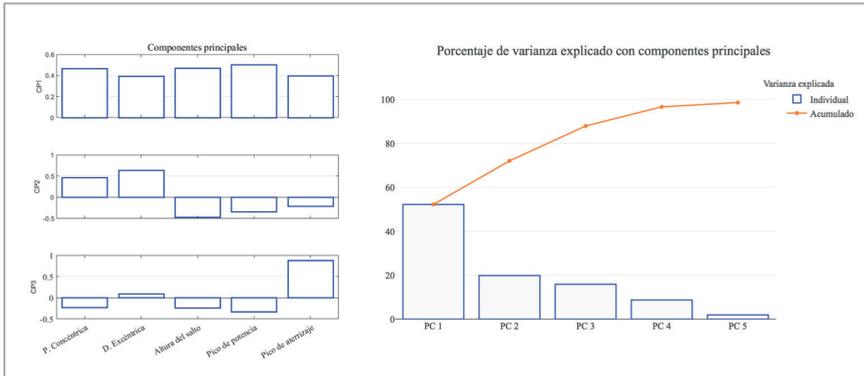
de coordenadas nuevo, y a la vez estima cuánto contribuye cada variable a la conformación de los componentes principales (PC), y que tan fuertes son las correlaciones entre las diferentes variables y los componentes. En este estudio fueron incluidas en el ACP las siguientes variables: pico de potencia, altura del salto, pico de aterrizaje, pico de fuerza concéntrica y desaceleración excéntrica.

**Tabla 5.** Porcentajes de asimetría para hombres y mujeres calculados para tres variables

|                           | % Asimetría |         |
|---------------------------|-------------|---------|
|                           | Hombres     | Mujeres |
| Pico de aterrizaje        | 12.17       | 7.47    |
| Pico fuerza concéntrica   | 7.3         | 6.13    |
| Desaceleración excéntrica | 14.53       | 17.65   |

Fuente: Original de los autores.

De este nuevo sistema de coordenadas, tres de cinco componentes fueron seleccionados porque explican el 95,7 % de la varianza de los datos. En la figura 4 se puede ver que los coeficientes del primer componente principal para pico de potencia, altitud del salto y pico de fuerza concéntrica son mayores o son aproximados a 0,5. Este PC representa cómo la fuerza de propulsión (P. concéntrica) —la cual explica la fuerza muscular— está correlacionada con la eficacia del salto dada por la altura y la potencia. Además, explica la ecuación 1, mencionada por Prada (19), donde la potencia muscular de los miembros inferiores es directamente proporcional a la altura ( $h$ ) que se alcanza en el salto. El primer PC explica la fase de propulsión y la fase de vuelo de un salto de CMJ; este PC explica el 60,09 % de la varianza de los datos. El segundo componente define el 23 % de la variabilidad de los datos y el tercer PC el 12 %. El segundo componente ilustra el descenso / ascenso del salto y dio como resultado una fuerte correlación entre la fuerza concéntrica y la desaceleración excéntrica. Finalmente, el tercer componente está definido por la fase de aterrizaje del salto.



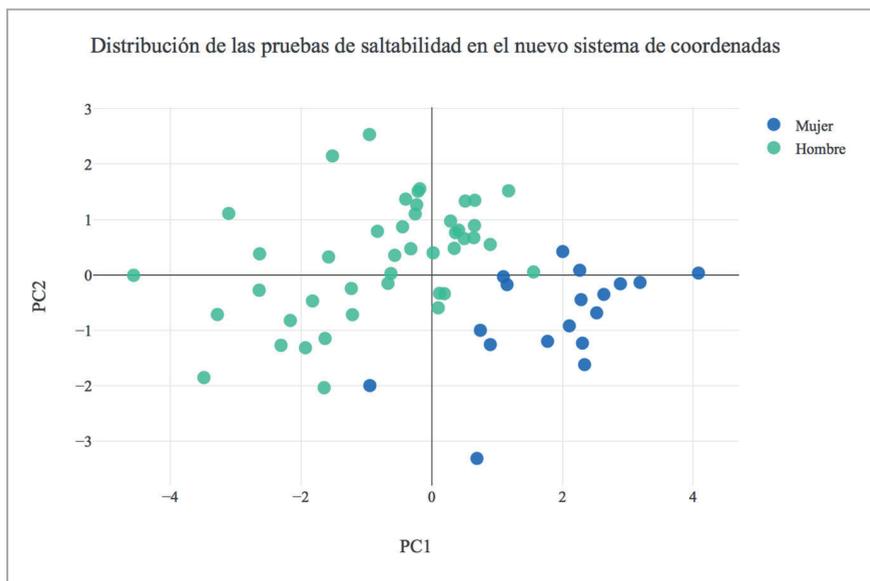
**Figura 4** Resultados del análisis de componentes principales en los datos usando las variables: pico de fuerza concéntrica, desaceleración excéntrica, altura del salto, pico de potencia y pico de aterrizaje. *Izquierda:* coeficientes de los tres primeros componentes principales para las cinco variables. *Derecha:* porcentaje de variación explicado por los componentes principales. Fuente: Original de los autores.

$$Potencia = \sqrt{\left(\frac{g}{2}\right)} * m * \sqrt{h} \tag{1}$$

Finalmente, se proyectan todas las pruebas de cada sujeto a este nuevo sistema de coordenadas. En la figura 5 se puede ver cómo se tienden a agrupar los datos de acuerdo con el género. Este nuevo sistema de coordenadas permite encontrar diferencias entre géneros dados principalmente por el primer PC. Los resultados muestran que la potencia, la altura y la fuerza concéntrica del salto son las características principales que permiten diferenciar neuromuscularmente en miembros inferiores entre géneros (figura 4).

## Discusión

El salto de contramovimiento es una de las pruebas más utilizadas para hacer análisis neuromusculares (10, 12, 15, 20). El objetivo de este proyecto era realizar una caracterización de miembros inferiores a los alumnos de primer nivel de la Esmic a partir de pruebas de salto de CMJ. El concepto de caracterización neuromuscular utilizando CMJ ha sido mencionado en otras



**Figura 5.** Cada sujeto es un punto en el nuevo espacio de coordenadas, el cual está determinado por el componente principal 1 (PC1) y el componente principal 2 (PC2). Fuente: Original de los autores.

investigaciones, especialmente para evaluar rendimiento en deportistas (15, 17, 20, 21), pero también hay algunos estudios que han utilizado la prueba de CMJ en militares (7, 11, 22). La mayoría de estas investigaciones están enfocadas en comparar cómo varía la fuerza, la velocidad y la potencia a la hora de realizar un salto de contramovimiento después de llevar a cabo determinado entrenamiento; en otras palabras, se utiliza el CMJ para evaluar la efectividad e incidencia de un entrenamiento —estos estudios se basan principalmente en dos variables: pico de potencia y altura del salto—. Lo importante de este estudio es hacer una caracterización muscular no solo utilizando las variables de pico de potencia y altura del salto, sino también incluyendo la desaceleración excéntrica, el pico de fuerza concéntrica y el pico de aterrizaje. La finalidad es abarcar todas las fases del salto para poder hacerle un análisis completo y así encontrar valores de referencia que permitan describir la condición muscular de miembros inferiores de los alumnos de primer nivel de la Esmic.

### Diferencias entre géneros

La figura 3 y la tabla 4 señalan que las diferencias en fuerza y potencia de miembros inferiores entre hombres y mujeres es significativa, con diferencias no menores al 10 %. La diferencia más evidente se da en la altura del salto (35 %), lo cual está dado por una mayor fuerza concéntrica —que explica la fuerza de propulsión— y a su vez está altamente correlacionado con una mayor desaceleración excéntrica. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Lafaye et al. (20), quienes afirman que una mayor fuerza concéntrica, acompañada con una mayor fuerza excéntrica, brinda una mayor capacidad para acelerar el cuerpo a la hora de realizar un salto de contramovimiento.

En la ejecución del salto (2), la fuerza que define cada una de las fases (desaceleración excéntrica, pico de fuerza concéntrica y pico de aterrizaje) es menor en mujeres que en hombres. Algunos estudios sugieren que una baja tasa de desarrollo de fuerza en mujeres se debe no solo a las diferencias en las propiedades elásticas de los músculos (23), sino también a las dimensiones del cuerpo y la arquitectura muscular, lo cual modifica la forma en la que se produce la fuerza (20).

En artículos donde la población de estudio es militar y se utilizan pruebas de saltabilidad, los autores se han enfocado en determinar cómo un salto de CMJ o squat jump (SJ) es relevante para medir el rendimiento físico de un militar después de entrenamientos militares cortos (8-21 días) (7, 11, 22). En estos estudios no hacen ninguna diferencia entre géneros y solo utilizan el pico de potencia y la altura del salto como variables de comparación. Es importante recalcar que, aunque los sujetos estén expuestos al mismo entrenamiento durante el mismo periodo de tiempo, si no se hace una distinción entre géneros podría sesgar los resultados, ya que, como se mostró en la tabla 4, las diferencias que existen durante la ejecución de un salto de CMJ son significativas.

### **Evaluación de asimetrías**

En un salto vertical se espera que ambas extremidades contribuyan lo mismo en fuerza y potencia, de lo contrario el rendimiento disminuye y la probabilidad de lesión aumenta (24). Sin embargo, esto no se cumple, ya que la mayoría de las veces se presentan asimetrías dadas de acuerdo con la extremidad dominante. Adicionalmente, es importante prestar atención a asimetrías mayores al 10 % en sujetos que, aunque tengan una alta actividad física, no tienen un adecuado entrenamiento (25). Se puede decir que los estudiantes de primer nivel de la Esmic del año 2017 presentan porcentajes de asimetría muy altos en la fase de desaceleración y aterrizaje, seguramente son sujetos que siempre han tenido una actividad física activa, pero nunca han desarrollado entrenamientos que les permita compensar estas asimetrías. Por lo tanto, si no se realiza un entrenamiento vigilado y adecuado en esta población, pueden tener una alta probabilidad de lesión. Si bien en este caso no se conoce el índice de lesiones sobre esta población y puede ser que no haya sido alto, quizá se deba a mecanismos compensatorios, entre los que se encuentra la alteración de la técnica de los movimientos o modificación de la postura (26), lo cual puede causar lesiones a largo plazo.

Aunque las diferencias por género en las fases del salto son evidentes, es importante destacar que las diferencias en las asimetrías no fueron significativas en la población ingresante; sin embargo, sería interesante ver cómo estas asimetrías varían a lo largo del entrenamiento militar.

### **Perfil neuromuscular**

El reporte final de un salto de CMJ está asociado a variables cinéticas y cinemáticas: altura del salto, potencia, fuerza, velocidad, fuerza excéntrica, fuerza concéntrica, entre otros. Y a su vez hay unas variables que son más sensibles que otras a la hora de determinar el perfil neuromuscular de un atleta (12). Hasta el momento no se ha encontrado mucha literatura con modelos que utilicen las variables de un reporte de CMJ para diferenciar entre grupos de interés, y mucho menos modelos que estén enfocados en

distinguir perfiles neuromusculares de miembros inferiores entre hombres y mujeres. Los estudios que plantean modelos a partir de los reportes derivados de una prueba de CMJ se han enfocado en crear perfiles que permitan diferenciar entre deportistas de acuerdo con su disciplina (20), o plantear modelos más sencillos que describan las relaciones fuerza/velocidad y potencia/velocidad de un salto (27).

Uno de los objetivos de este estudio era definir un perfil neuromuscular que permitiera determinar las características neuromusculares y biomecánicas que se diferencian entre hombres y mujeres de primer nivel de la Esmic. En este sentido se encontró una alta correlación entre la altura del salto, el pico de potencia y el pico de fuerza concéntrica, como muchos autores lo han reportado (11, 15, 17, 20, 21, 22). Sin embargo, lo novedoso es evidenciar cómo estas tres variables generan un perfil que es principal para diferenciar entre hombres y mujeres en un salto de contramovimiento (figura 5). Estos resultados afirman diferencias biomecánicas y neuromusculares entre géneros. Por ejemplo, sobresale que los hombres tienen una mayor actividad muscular, lo cual está correlacionado con la máxima generación de fuerza por velocidad durante el salto (potencia), y a su vez estas características neuromusculares mejoran la altura de un salto.

## Conclusión

Cada año ingresan a la Esmic muchos estudiantes a primer nivel, los cuales están expuestos a rutinas militares exigentes que pueden desencadenar en lesiones, la mayor de las cuales se da en las extremidades inferiores; sin embargo, no se conocen las causas exactas.

Este estudio utilizó una prueba de salto contramovimiento y se estableció el perfil neuromuscular de miembros inferiores de los estudiantes que ingresan a la institución. Esto se hizo con el fin de determinar las principales características de sus miembros inferiores y así posibles causas de lesión durante el entrenamiento militar. Además, se estableció cómo es el comportamiento neuromuscular de miembros inferiores por género y se establecieron unos parámetros de comparación.

## Agradecimientos

Los datos analizados en el presente estudio forman parte del proyecto institucional no financiado sobre “Factores de riesgo asociados a la presencia del síndrome de estrés tibial medial en alumnos en formación de la Escuela Militar”, proyecto que se ejecutó en cooperación entre la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” y el Centro de Medición de la Actividad Física (Cema) de la Universidad del Rosario.

## Referencias

1. Rodríguez Gómez J, Valenzuela Pinzón J, Velasco Rodríguez J, Castro Jiménez L, Melo Buitrago P. Caracterización de las lesiones derivadas del entrenamiento físico militar. *Revista Cuidarte*. 2016; 7 (1): 1219. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3595/359543375010.pdf>
2. Castro Solano A, Casullo M. Predictores del rendimiento académico y militar de cadetes argentinos. Universidad de Murcia; 2004.
3. Gómez García S. Actualización sobre el síndrome de estrés tibial medial. *Rev. Cient. Gen. José María Córdova*. 2016; 14 (17): 225. doi: <https://doi.org/10.21830/19006586.13>
4. Thacker S, Branche C, Gilchrist J, Jones B, Sleet D, Kimsey C. Exercise-related injuries among women: strategies for prevention from civilian and military studies. *Morbidity and Mortality Weekly Report: Recommendations and Reports*, 2000; 49 (RR-2): 13-33.
5. Heir T. Musculoskeletal injuries in officer training: one-year follow-up. *Military Medicine*. 1998 abril; 163 (4): 229-233. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9575768-musculoskeletal-injuries-in-officer-training-one-year-follow-up/>
6. Jackson D, Bailey D. Shin splints in the young athlete: a nonspecific diagnosis. *The Physician and Sportsmedicine*. 1975 marzo; 3 (3): 44-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00913847.1975.11948158>
7. Heinrich K, Spencer V, Fehl N, Carlos Poston W. Mission Essential Fitness: comparison of functional circuit training to traditional army physical training for active duty military. *Military Medicine*. 2012 octubre; 177 (10): 1125-1130. DOI: <http://dx.doi.org/10.7205/milmed-d-12-00143>
8. Cormie P, McCauley G, Triplett N, McBride J. Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007 febrero; 39 (2): 340-349. DOI: <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf>
9. Klavara P. Vertical-jump Tests: A critical review. *Strength and Conditioning Journal*. 2000; 22 (5): 70-75
10. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2004

- agosto; 18 (3): 551-555. DOI: [http://dx.doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
11. Welsh T, Alemany J, Montain S, Frykman P, Tuckow A, Young A et al. Effects of intensified military field training on jumping performance. *International Journal of Sports Medicine*. 2008 enero; 29 (1): 45-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-964970>
  12. Claudino J, Cronin J, Mezêncio B, McMaster D, McGuigan M, Tricoli V et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017 abril; 20 (4): 397-402. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
  13. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñañel V, Conceição F, González-Badillo J, Morin J. Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*. 2014 noviembre; 114 (11): 2281-2288. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-014-2947-1>
  14. Jiménez-Reyes P, González-Badillo J. Control de la carga de entrenamiento a través del CMJ en pruebas de velocidad y saltos para optimizar el rendimiento deportivo en atletismo. *Cultura Ciencia Deporte*. 2011; 6 (18): 207-217.
  15. Jiménez-Reyes P, Cuadrado-Peñañel V, González-Badillo J. Aplicación del CMJ para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad. *Cultura Ciencia Deporte*. 2011; 6 (17): 105-112.
  16. Toumi H, Poumarat G, Best T, Martin A, Fairclough J, Benjamin M. Fatigue and muscle–tendon stiffness after stretch–shortening cycle and isometric exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2006; 31 (5): 565-572. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/h06-034>
  17. Yáñez Constante C. Variables bioquímicas y del desempeño del salto contramovimiento para monitorizar la fatiga neuromuscular en deportistas de resistencia [tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia; 2016.
  18. Rodríguez Zárate N, Argothy Bucheli R, Acero Jáuregui J, Gómez Salazar L, Menzel H, Cohen D. Lineamientos de política pública en ciencias del deporte. En: *Biomecánica*. 1.ª ed. Bogotá: Coldeportes; 2018.
  19. Centeno Prada R. Valores de referencia para saltos en plataforma dinamométrica en una población de deportistas andaluces [tesis de doctorado]. Universidad Pablo de Olavide; 2013.
  20. Laffaye G, Wagner P, Tombleson T. Countermovement jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014 abril; 28 (4): 1096-1105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>
  21. Chamari K, Chaouachi A, Hambli M, Kaouech F, Wisløff U, Castagna C. The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008; 22 (3): 944-950.
  22. Loturco I, Ugrinowitsch C, Roschel H, Lopes Mellinger A, Gomes F, Tricoli V et al. Distinct temporal organizations of the strength- and power-training loads produce

- similar performance improvements. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013; 27 (1): 188-194.
23. Komi P. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 1984; 12 (1): 81-122.
  24. Bell D, Sanfilippo J, Binkley N, Heiderscheit B. Lean mass asymmetry influences force and power asymmetry during jumping in collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014 abril; 28 (4): 884-891. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0000000000000367>
  25. Benjanuvatira N, Lay B, Alderson J, Blanksby B. Comparison of ground reaction force asymmetry in one- and two-legged countermovement jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013 octubre; 27 (10): 2700-2707. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280d28e>
  26. Menzel H, Chagas M, Szmuchrowski L, Araujo S, de Andrade A, de Jesus-Moraleida F. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013; 27 (5): 1370-1377. DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>
  27. Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour J. Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2001 marzo; 84 (3): 227-232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/PL00007956>
  28. Pasco CI6461. Force Platform [Internet]. 2019 [citado 8 de julio 2019]. Disponible en: <http://www.manualsdir.com/manuals/340843/pasco-ci-6461-force-platform.html>



# Factores de riesgo para Síndrome de Estrés Tibial Medial en cadetes en formación

8

<https://doi.org/10.21830/9789585241466.08>

*Jonathan R. Malaver-Moreno<sup>1</sup>*

*Jenner R. Cubides<sup>2</sup>*

*Rodrigo E. Argothy<sup>3</sup>*

*Esteban Aedo-Muñoz<sup>4</sup>*

## Resumen

**Objetivo:** determinar los factores de riesgo para el Síndrome de Estrés Tibial Medial (Setm) asociados con la cinética del countermovement jump (CMJ) en cadetes en formación. **Materiales y métodos:** una cohorte de 164 cadetes fue seguida prospectivamente durante 24 semanas. Al inicio de la investigación, se registraron los datos antropométricos y demográficos de los participantes, y se les interrogó acerca de sus hábitos de actividad física, hábitos tabáquicos, hábitos en el consumo de alcohol y antecedentes en el uso de material ortopédico, lesiones en los miembros inferiores y Setm. La altura del salto (cm), la tasa de desarrollo de la fuerza en la desaceleración excéntrica (EDRFD [N/s\*kg]), la asimetría de la EDRFD (% y % / VN), la fuerza concéntrica media (CMF [N\*kg]), la asimetría de la CMF (% y % / VN), la fuerza pico en el aterrizaje (PLF [N\*kg]), y la asimetría de la PLF (% y % / VN), se evaluaron a través del CMJ bilateral con un par de plataformas de fuerza uniaxial. Finalizado el seguimiento, se identificaron los cadetes que presentaron Setm mediante la historia

---

1 Magíster en Actividad Física y Salud. Centro de Estudios para la Medición en Actividad Física (Cema), Universidad del Rosario, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: jonathan.malaver@urosario.edu.co - <https://orcid.org/0000-0002-6990-5292>

2 Médico epidemiólogo. Grupo de Investigación en Rendimiento Físico Militar (Renfimil), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: jenner.cubides@urosario.edu.co - <https://orcid.org/0000-0001-6573-0432>

3 Fisioterapeuta. Grupo de Investigación en Rendimiento Físico Militar (Renfimil), Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Bogotá, D. C., Colombia. Contacto: rargoty@mindeporte.gov.co - <https://orcid.org/0000-0001-9606-4284>

4 PhD. en Ciencias de la motricidad humana. Laboratorio de Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud, Universidad de Santiago de Chile (Usach), Santiago, Chile. Contacto: esteban.aedo@usach.cl - <https://orcid.org/0000-0003-1544-2824>

clínica. **Resultados:** al final del estudio quedaron 91 hombres y 32 mujeres ( $n = 123$ ). La incidencia del Setm fue de 13 % ( $n = 16$ ). En el análisis bivariado, el sexo femenino (RR = 2,84; IC 95 % = 1,16-6,94), la procedencia rural (RR = 2,65; IC 95 % = 1,04-6,72), el antecedente de Setm (RR = 5,71; IC 95 % = 2,23-14,62) y la asimetría de la EDRFD (% / VN), se asociaron de forma significativa con el Setm ( $p \leq 0.05$ ). En la regresión logística binaria, el sexo femenino (OR = 4,91; IC 95 % = 1,38-13,37), la procedencia rural (OR = 4,82; IC 95 % = 1,04-6,72) y la asimetría de la EDRFD (% / VN) (OR = 1,03; IC 95% = 1,00-1,07) se asociaron de forma significativa con el Setm ( $p \leq 0.05$ ). El antecedente de Setm fue significativo para  $p \leq 0.1$  (OR = 8,95; IC 95 % = 0,68-118,73). En términos generales el modelo predictivo es significativo para el Setm ( $p \leq 0.01$ ), tuvo una sensibilidad del 31,3 % y una especificidad del 99,1 % (pronóstico global del 90,2 %). **Conclusiones:** el sexo femenino, la procedencia rural, el antecedente de Setm y una mayor asimetría en la EDRFD son importantes factores de riesgo para el desarrollo del Setm. Estos hallazgos permitirán hacer una mejor predicción del Setm en el personal militar y son especialmente útiles para clasificar el riesgo y la implementación de programas de prevención primaria en los cadetes que inician su formación militar cuando ingresan a la Esmic.

**Palabras clave:** factores de riesgo, personal militar, Síndrome de Estrés Medial de la Tibia, fenómenos biomecánicos, cinética, salto en contramovimiento.

## Introducción

El Síndrome de Estrés Tibial Medial (Setm) es una de las patologías más reportadas e incapacitantes en el personal militar (1-5), siendo la principal causa de dolor en la parte inferior de la pierna relacionada con el ejercicio físico (3). Aunque no reviste de gravedad, si no es tratada de forma adecuada puede propiciar lesiones como la fractura por estrés tibial (6). La incidencia reportada en el personal militar para esta patología oscila entre el 7,2 % y el 3 5% (3, 4).

El Setm se caracteriza por un dolor difuso en el tercio medio del borde posteromedial de la tibia (1-3, 5-7), que aumenta durante la práctica de ejercicio físico (7). Aunque los síntomas son percibidos a nivel subcutáneo entre la fascia crural y el hueso, el Setm se asocia con cambios óseos específicos (1). En la mayoría de los casos esta patología involucra microfracturas óseas corticales (5). La forma más sensible para el diagnóstico clínico del Setm es la palpación (2, 7).

Durante el ejercicio físico, el estrés mecánico que sufre la tibia provoca microtraumas necesarios para construir, fortalecer y adaptar el hueso. De hecho, la tensión producida por el músculo durante la contracción muscular estimula la osteogénesis (3, 4, 6). No obstante, sobrepasar el umbral de microtraumas (debido a un exceso de cargas de trabajo) puede conllevar una lesión como el Setm (3, 4, 6). El estrés óseo genera una sobrecarga en la remodelación del hueso (desequilibrio entre la reabsorción y síntesis de matriz ósea) que resulta en osteopenia (6, 8). Se ha observado que sujetos con Setm presentan menor densidad mineral ósea ( $23\% \pm 8\%$  menos) en comparación con atletas saludables en la zona donde se localiza el dolor (9).

La duración promedio del tratamiento de rehabilitación para el Setm es de tres meses, e incluso puede ser de 4-5 meses (10). De acuerdo con los datos enunciados por la Australian Defense Force Academy, el tiempo de incapacidad para esta patología es de 57,5 días en promedio por individuo, lo que se traduce en costos para el Estado de AUD \$ 6.410 por cada caso (11). En resumen, el Setm, al igual que el resto de lesiones musculoesqueléticas (LME), resulta en: un alto número de encuentros médicos (12-16), altos costos en atención médica y rehabilitación (12, 14, 17, 18), una elevada pérdida de días de trabajo (14, 16, 19-23), la limitación en la preparación física y operacional/táctica (18, 19, 24, 25), la disminución del personal militar desplegado y del rendimiento operativo en situaciones de combate (13, 25, 26), el deterioro funcional y la discapacidad física (20, 27-29), y un alto porcentaje de deserción prematura (30, 31).

De acuerdo con las últimas revisiones sistemáticas con meta-análisis, únicamente diez factores de riesgo evidenciaron una asociación significativa con el desarrollo del Setm: el sexo femenino (odds ratio [OR] = 2,35; intervalo de confianza [IC] 95 % = 1,58-3,50;  $p < 0,05$ ) (1), el Índice de Masa Corporal aumentado (IMC / diferencia de medias ponderada [WMD] = 0,79; IC 95 % = 0,38-1,20;  $p < 0,001$ ) (4), mayor rango de movimiento en la rotación externa de cadera (diferencia de medias estandarizada [SMD] = 0,44; IC 95 % = 0,23-0,65;  $p < 0,05$ ) (1), mayor caída navicular (SMD = 0,44; IC 95 % = 0,21-0,67;  $p < 0,05$ ) (1), mayor rango de movimiento en la

flexión plantar del tobillo (WMD = 5,94°; IC 95% = 3,65-8,24,  $p < 0,001$ ) (4), los antecedentes de LME (OR = 2,18; IC 95 % = 1,00-4,72;  $p < 0,05$ ) y Setm (riesgo relativo [RR] = 3,74; IC 95 % = 1,17-11,91;  $p = 0,03$ ) (1, 8), el peso aumentado (SMD= 0,24; IC 95 % = 0,03-0,45;  $p < 0,05$ ) (1), menor experiencia en la práctica de atletismo (SMD = 0,74; IC 95 % = 1,26-0,23;  $p = 0,005$ ) (8), y el uso previo de material ortopédico (RR = 2,31; IC 95 % = 1,56-3,43;  $p < 0,001$ ) (8).

Si bien algunas variables biomecánicas de tipo cinemático se han asociado con el Setm, la evidencia es limitada con respecto a las variables cinéticas. Particularmente, no se ha examinado la asociación entre las variables cinéticas implícitas en el salto y el Setm (en deportistas, población civil o militar), a pesar de que algunas de estas han sido asociadas con diversas LME (32-44).

El salto es un movimiento funcional (debido a que se asemeja a los diferentes gestos deportivos) (45), y, permite evaluar de forma fácil y económica la función neuromuscular en comparación con otros métodos (como las pruebas de fuerza isocinética) (46). De manera específica, el *countermovement jump* (CMJ) es una herramienta ampliamente utilizada para el monitoreo del estatus neuromuscular en el personal militar (47). Debido a que los músculos de la extremidad inferior desempeñan una labor importante en la atenuación de las fuerzas de impacto al correr y aterrizar (48), la deficiencia y las asimetrías en la función neuromuscular se asocian con un mayor riesgo de presentar LME (32, 45, 49-51).

El principal objetivo de este estudio fue determinar los factores de riesgo para el Setm asociados con la cinética del CMJ en cadetes en formación. Como objetivo secundario, se propuso establecer la incidencia real del Setm en una muestra de cadetes de la población militar colombiana, sobre la cual no se reporta nada a la fecha.

## Metodología

En este estudio observacional (descriptivo con componente analítico), una cohorte de 164 cadetes de ambos sexos que ingresaron durante el primer

semestre del año 2017 a la Escuela Militar General José María Córdova (Esmic), Bogotá, D. C., Colombia, fue seguida prospectivamente durante 24 semanas. Esta muestra se tomó por conveniencia y se abarcó a la totalidad de la población objeto al inicio de la investigación. Todos los participantes fueron previamente invitados a formar parte del estudio de manera voluntaria. En una reunión previa al inicio del protocolo, se les explicó los objetivos, la metodología y todos los por menores del estudio, así como también se les aseguró la confidencialidad de los datos.

Los criterios de exclusión a priori planteados para este estudio fueron: sujetos que no hubiesen firmado el consentimiento informado, presentaran LME o neuropatías en la extremidad inferior, displasia de cadera o cualquier patología que afectara su desempeño físico durante la formación militar y las mediciones del CMJ. Por último, a posteriori fueron excluidos de la investigación quienes presentaran datos incompletos.

El retiro voluntario del estudio no tuvo repercusiones sobre la carrera militar de los cadetes, ni en el manejo oportuno del Setm cuando fue diagnosticado. Esta investigación fue aprobada por el Comité de Ética en Ciencias Sociales y Exactas (Cecse) de la Esmic según el acta 4363 REG-AL-FOL-71/02-2018.

### **Mediciones**

Al inicio de la investigación se registró la edad, el sexo y la procedencia de los participantes, y se les interrogó acerca de sus hábitos de actividad física, hábitos tabáquicos y hábitos en el consumo de alcohol. Asimismo, se les preguntó acerca de sus antecedentes en el uso de material ortopédico, lesiones en los miembros inferiores y Setm. Esto se realizó a través de un cuestionario que abarcó diferentes preguntas del Cuestionario Mundial sobre Actividad Física (GPAQ) y la Encuesta Mundial sobre Tabaco en Adultos (GATS). Las medidas antropométricas básicas (estatura, peso e IMC) se tomaron usando instrumentos previamente calibrados (tallímetro SECA mBCA 515/514 y báscula Tanita BC-1500 ANT + Wireless).

La altura del salto (cm), la tasa de desarrollo de la fuerza en la desaceleración excéntrica (EDRFD [N/s\*kg]), la asimetría de la EDRFD (%), la

fuerza concéntrica media (CMF [N\*kg]), la asimetría de la CMF (%), la fuerza pico en el aterrizaje (PLF [N\*kg]) y la asimetría de la PLF (%), se evaluaron a través del CMJ bilateral en la línea de base. Por medio de estas variables, se valoró la función neuromuscular de la extremidad inferior en las diferentes fases del CMJ: impulso (EDRFD), ascenso/despegue (CMF) y aterrizaje (PLF). Antes de su ejecución, se explicó la técnica del salto y los cadetes tuvieron la oportunidad de ensayarlo.

En el CMJ se ubican las manos sobre la cintura, se realiza una sentadilla a 90° y sin efectuar pausa alguna durante el impulso, se realiza el ascenso/despegue (salto vertical). Cada participante realizó tres intentos válidos y se tomó el promedio para cada una de las variables. Posteriormente, estas fueron ajustadas según el peso corporal de los sujetos (N/s o N dividido entre el peso en kg). En el caso de las asimetrías, se tomó el valor absoluto (N/s o N) de las extremidades inferiores por separado y se determinó la diferencia relativa (porcentaje) entre estas (% asimetría = [valor absoluto derecha-valor absoluto izquierda / valor absoluto más alto]\*100).

Se usó un par plataformas de fuerza uniaxial Pasco®, con capacidad de medir vectores de fuerzas mayores a 4400 N o 1000 lbs. Los datos obtenidos se procesaron mediante el software ForceDekcs®. Cabe resaltar que, para las asimetrías, se obtuvieron datos normalizados (sin tener en cuenta la dominancia de la asimetría) y negativos (VN) como se designó a los valores que tomaron en cuenta la dominancia de la asimetría (dominancia izquierda = negativa [-]), siendo esta variable analizada de dos maneras diferentes (% y % / VN, respectivamente).

Al finalizar el tiempo de seguimiento, se identificaron los cadetes con Setm mediante la historia clínica electrónica que reposa en el sistema de información en salud de las Fuerzas Militares de Colombia. Los médicos del dispensario fueron los encargados de realizar el diagnóstico clínico de la patología y anexarlo al software Salud.SIS®.

### **Análisis estadístico**

Se determinaron medidas de frecuencia absoluta y relativa (variables categóricas), y, medidas de tendencia central y dispersión (variables conti-

nuas). Para las variables categóricas, se evaluó la independencia (con respecto a la presencia del Setm) a través de la prueba de Chi-cuadrado y el riesgo relativo (RR). En el caso de las variables continuas, se determinó la diferencia de medias/medianas entre los grupos (con y sin Setm), por lo que se evaluó la distribución de los datos y la homogeneidad de la varianza. La normalidad de los datos se estableció con la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $> 50$  sujetos) y la homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene. Para las variables con un  $p \leq 0,05$  en alguno de estos dos supuestos fue utilizada la estadística no paramétrica (U-Mann Whitney/diferencia de medianas), de lo contrario fue empleada la estadística paramétrica (T-Student para muestras independientes / diferencia de medias).

Las variables significativas en el análisis bivariado se utilizaron para formular un modelo predictivo. Este se realizó a través de una regresión logística binaria (análisis multivariado), en la que se determinaron las variables significativas para el Setm con base en  $p \leq 0,05$ , con su respectivo OR ( $\exp[B]$ ). También se determinó la bondad de ajuste de Hosmer y Lemeshow, el R-cuadrado de Nagelkerke, la sensibilidad y la especificidad, y la significancia (prueba de Omnibus) del modelo.

Los datos fueron organizados en Excel (Microsoft Office 2016), y luego exportados al software Statistical Package for Social Science (SPSS versión 25.0) para hacer el análisis estadístico.

## Resultados

De los 164 cadetes que conformaban la muestra inicialmente, al final del seguimiento quedaron 91 hombres y 32 mujeres ( $n = 123$ ). La incidencia del Setm fue 13 % ( $n = 16$ ); específicamente, para los hombres fue 8,8 % ( $n = 8$ ) y para las mujeres fue 25 % ( $n = 8$ ). El promedio de edad fue  $18,15 \pm 1,17$  años. Por su parte, el promedio del peso, de la talla y del IMC fue  $61,8 \pm 9,9$  kg,  $1,71 \pm 0,08$  m y  $21,1 \pm 2,9$  kg / m<sup>2</sup> respectivamente. No hubo diferencias significativas para el IMC entre el grupo con y sin Setm ( $21,3 \pm 2,7$  vs.  $21,1 \pm 2,9$ ;  $p = 0,636$ ).

Se encontró que el sexo, la procedencia y el antecedente de Setm se asociaron de forma significativa con el Setm (tabla 1). Las mujeres presentaron mayor riesgo que los hombres de sufrir esta patología (RR = 2,84), al igual que los cadetes que provenían de zonas rurales (inmediatamente antes de ingresar a la formación militar) y que habían sufrido Setm en el pasado en comparación con sus contrapartes (RR = 2,65 y 5,71 respectivamente) (tabla 1).

**Tabla 1.** Riesgo relativo para el Setm según las variables demográficas y del estilo de vida

|                                              | n   | Incidencia Setm (%) | RR   | IC 95%     | p-valor† |
|----------------------------------------------|-----|---------------------|------|------------|----------|
| Sexo                                         |     |                     |      |            | 0,019**  |
| Hombre                                       | 91  | 8,8                 | REF  | -          |          |
| Mujer                                        | 32  | 25,0                | 2,84 | 1,16-6,94  |          |
| Procedencia                                  |     |                     |      |            | 0,044**  |
| Urbano                                       | 105 | 10,5                | REF  | -          |          |
| Rural                                        | 18  | 27,8                | 2,65 | 1,04-6,72  |          |
| Consumo actual de cigarrillo                 |     |                     |      |            | 0,698    |
| No                                           | 122 | 13,1                | -    | -          |          |
| Sí                                           | 1   | 0,0                 | -    | -          |          |
| Consumo previo de cigarrillo                 |     |                     |      |            | 0,768    |
| No                                           | 113 | 13,3                | 1,32 | 0,19-9,03  |          |
| Sí                                           | 10  | 10,0                | REF  | -          |          |
| Consumo previo de alcohol                    |     |                     |      |            | 0,861    |
| No                                           | 9   | 11,1                | REF  | -          |          |
| Sí                                           | 114 | 13,2                | 1,18 | 0,17-7,97  |          |
| Consumo de alcohol en los últimos tres meses |     |                     |      |            | 0,77     |
| Nunca                                        | 47  | 12,8                | 1,03 | 0,37-2,88  |          |
| 1 o 2 veces                                  | 57  | 12,3                | REF  | -          |          |
| Mensualmente                                 | 16  | 12,5                | 1,01 | 0,23-4,42  |          |
| Semanalmente                                 | 3   | 33,3                | 2,71 | 0,47-15,53 |          |

Continúa tabla...

|                                                  | n   | Incidencia Setm (%) | RR   | IC 95%     | p-valor† |
|--------------------------------------------------|-----|---------------------|------|------------|----------|
| Práctica actual de ejercicio físico o deporte    |     |                     |      |            |          |
| No                                               | 11  | 18,2                | 1,45 | 0,37-5,58  | 0,593    |
| Sí                                               | 112 | 12,5                | REF  | -          |          |
| Frecuencia semanal de ejercicio físico o deporte |     |                     |      |            |          |
| ≤ 2 días                                         | 26  | 7,7                 | 1,3  | 0,19-8,67  | 0,122    |
| 3-5 días                                         | 63  | 19,0                | 3,23 | 0,76-13,63 |          |
| ≥ 6 días                                         | 34  | 5,9                 | REF  | -          |          |
| Tiempo diario de ejercicio físico o deporte      |     |                     |      |            |          |
| < 1 hora                                         | 34  | 14,7                | 2,35 | 0,49-11,27 | 0,413    |
| 1-2 horas                                        | 57  | 15,8                | 2,52 | 0,58-10,98 |          |
| > 2 horas                                        | 32  | 6,3                 | REF  | -          |          |
| Uso previo de material ortopédico                |     |                     |      |            |          |
| No                                               | 116 | 12,9                | REF  | -          | 0,918    |
| Sí                                               | 7   | 14,3                | 1,1  | 0,16-7,20  |          |
| Antecedente de Setm                              |     |                     |      |            |          |
| No                                               | 120 | 11,7                | REF  | -          | 0,005*** |
| Sí                                               | 3   | 66,7                | 5,71 | 2,23-14,62 |          |
| Antecedente de LME en la extremidad inferior     |     |                     |      |            |          |
| No                                               | 112 | 12,5                | REF  | -          | 0,593    |
| Sí                                               | 11  | 18,2                | 1,45 | 0,37-5,58  |          |

\*\* Significancia de  $p \leq 0,05$ ; \*\*\* Significancia de  $p \leq 0,01$ ; † Prueba de Chi-cuadrado.  
Fuente: Original de los autores.

Con base en las variables cinéticas evaluadas, únicamente la asimetría de la EDRFD (% / VN) fue significativa cuando se compararon los cadetes con y sin Setm (tabla 2). Las personas que presentaron esta patología tenían dominancia derecha (positiva) en la asimetría de la EDRFD, a diferencia de los sujetos sanos (dominancia izquierda [negativa]) (tabla 2). Al evaluar el riesgo de presentar Setm con base en la extremidad inferior dominante, se encontró que los cadetes con una asimetría derecha para la EDRFD tenían 2,06 (IC 95 % = 0,79-5,31;  $p = 0,125$ ) veces más riesgo de sufrir Setm que los que presentaban una asimetría izquierda.

**Tabla 2.** Diferencia de los grupos con y sin Setm para las variables cinéticas del CMJ

|                              | Setm (n= 16)   |             | No Setm (n= 107) |             | p-valor† |
|------------------------------|----------------|-------------|------------------|-------------|----------|
|                              | $\bar{x}$ (DE) | IC 95%      | $\bar{x}$ (DE)   | IC 95%      |          |
| Altura del salto (cm)        | 26,1 (7,4)     | 22,2-30,1   | 28,6 (5,8)       | 27,5-29,7   | 0,129    |
| Asimetría de la EDRFD (%)    | 19,4 (14,5)    | 11,7-27,1   | 15,7 (11,0)      | 13,6-17,8   | 0,417    |
| Asimetría de la EDRFD (%/VN) | 9,4 (22,8)     | -2,8-[21,5] | -3,4 (18,9)      | -7,0-[0,3]  | 0,016**  |
| EDRFD (N/s*kg)               | 43,8 (11,1)    | 37,9-49,7   | 41,4 (15,2)      | 38,5-44,3   | 0,314    |
| Asimetría de la CMF (%)      | 5,8 (4,0)      | 3,7-7,9     | 7,3 (5,4)        | 6,2-8,3     | 0,434    |
| Asimetría de la CMF (%/VN)   | 1,1 (7,1)      | -2,6-[4,9]  | -2,3 (8,8)       | -4,0-[-0,6] | 0,138    |
| CMF (N*kg)                   | 9,7 (1,3)      | 9,0-10,4    | 9,3 (1,2)        | 9,1-9,6     | 0,636    |
| Asimetría de la PLF (%)      | 12,1 (8,6)     | 7,5-16,7    | 18,4 (14,4)      | 15,7-21,2   | 0,139    |
| Asimetría de la PLF (%/VN)   | 0,8 (15,1)     | -7,2-[8,9]  | 3,6 (23,2)       | -0,8-[8,1]  | 0,642    |
| PLF (N*kg)                   | 29,3 (5,6)     | 26,3-32,3   | 29,9 (7,8)       | 28,4-31,4   | 0,774    |

\*\* Significancia de  $p \leq 0,05$ ; † Prueba de T-Student o U-Mann Whitney; EDRFD = tasa de desarrollo de la fuerza en la desaceleración excéntrica.

Fuente: Original de los autores.

Al analizar por separado el grupo con dominancia derecha para la asimetría de la EDRFD ( $n = 55$ ), se encontraron diferencias significativas entre el grupo con y sin Setm (tabla 3). La asimetría para los lesionados se encontró por encima de 20 %, mientras para los sanos estuvo por debajo de 15 % (tabla 3). Los cadetes con asimetrías  $\geq 20$  % tenían 2,84 (0,91-8,86;  $p = 0,061$ ) veces más riesgo de sufrir Setm que aquellos con asimetrías  $< 20$ %.

**Tabla 3.** Diferencia de los grupos con y sin Setm con base en la dominancia para la asimetría de la EDRFD

|                                                      | Setm (n= 10)   |           | No Setm (n= 45) |           | p-valor† |
|------------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|----------|
|                                                      | $\bar{x}$ (DE) | IC 95%    | $\bar{x}$ (DE)  | IC 95%    |          |
| Dominancia derecha para la asimetría de la EDRFD (%) | 23,0 (14,0)    | 13,0-33,0 | 14,7 (9,8)      | 11,7-17,6 | 0,029**  |

|                                                        | Setm (N= 6)    |             | No Setm (N= 62) |               | p-valor† |
|--------------------------------------------------------|----------------|-------------|-----------------|---------------|----------|
|                                                        | $\bar{x}$ (DE) | IC 95%      | $\bar{x}$ (DE)  | IC 95%        |          |
| Dominancia izquierda para la asimetría de la EDRFD (%) | -13,4 (14,4)   | -28,5-[1,8] | -16,5 (11,8)    | -19,4-[-13,5] | 0,552    |

\*\* Significancia de  $p \leq 0,05$ ; † Prueba de T-Student.

Fuente: Original de los autores.

De los diez sujetos con Setm que presentaron dominancia derecha para la asimetría de la EDRFD, el 20 % sufrió esta patología en la extremidad inferior derecha, el 20 % en la izquierda y el 60 % en ambas piernas. De los seis cadetes con Setm que presentaron asimetría izquierda para la EDRFD, el 16,7 % sufrió esta patología en la extremidad inferior izquierda, el 50 % en la derecha y el 33,3 % en ambas piernas. Estos datos revelan que el Setm afectó en menor proporción la extremidad inferior dominante frente a la no dominante (18,3 % vs. 35 %), sin embargo, lo más común fue el Setm bilateral (46,7 %).

Las variables incluidas en la regresión logística y que más aportan a la predicción del Setm fueron el sexo, la procedencia, el antecedente de Setm y la asimetría de la EDRFD (% / VN). El modelo fue significativo para el Setm ( $p = 0,001$ ), tuvo una sensibilidad del 31,3 % y una especificidad del 99,1 % (pronóstico global del 90,2 %), una bondad de ajuste de 0,57 (prueba de Hosmer y Lemeshow) y un R-cuadrado de Nagelkerke de 0,26.

Todas las variables incorporadas en el modelo tuvieron una significancia de  $p \leq 0,05$  a excepción del antecedente de Setm ( $p \leq 0,1$ ) (tabla 4).

Las mujeres tuvieron más riesgo que los hombres de sufrir esta patología (OR = 4,91), al igual que los cadetes que provenían de zonas rurales (inmediatamente antes de ingresar a la formación militar) y que habían sufrido Setm en el pasado en comparación con sus contrapartes (OR = 4,82 y 8,95, respectivamente) (tabla 4). Asimismo, el incremento del 1 % en la asimetría (derecha) de la EDRFD, aumenta el riesgo de padecer Setm (OR = 1,03) (tabla 4).

**Tabla 4.** Factores de riesgo asociados al Setm en el modelo predictivo multivariado

|                                | <b>B</b><br>(coeficiente) | <b>Error</b><br><b>estándar</b> | <b>Wald</b> | <b>p-valor</b> | <b>OR</b><br>(Exp[B]) | <b>IC 95%</b> |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------|----------------|-----------------------|---------------|
| Sexo                           | 1,590                     | 0,65                            | 6,08        | 0,014**        | 4,91                  | 1,38-13,37    |
| Procedencia                    | 1,572                     | 0,69                            | 5,18        | 0,023**        | 4,82                  | 1,24-18,66    |
| Antecedente de Setm            | 2,192                     | 1,32                            | 2,76        | 0,097*         | 8,95                  | 0,68-118,73   |
| Asimetría de la EDRFD (% / VN) | 0,034                     | 0,02                            | 4,49        | 0,034**        | 1,03                  | 1,00-1,07     |
| Constante                      | -3,037                    | 0,53                            | 32,57       | 0,000          | 0,05                  |               |

\* Significancia de  $p \leq 0,1$ ; \*\* Significancia de  $p \leq 0,05$ .

Fuente: Original de los autores.

## Discusión

El Setm es una de las LME de mayor incidencia en el personal militar (3, 4). Esta patología repercute de forma negativa en la carrera militar de los cadetes, su salud a corto y largo plazo, así como en los costos en salud de las instituciones militares (11, 12, 14, 25, 27, 30). Numerosos factores de riesgo han sido relacionados con el Setm (1, 4, 8), sin embargo, las variables cinéticas implícitas en el salto no han sido asociadas con esta patología a diferencia de otras LME (32, 45, 51). Este estudio se centró en determinar los factores de riesgo para el Setm asociados con la cinética del CMJ en cadetes en formación.

Los hallazgos muestran que el IMC no se asocia de forma significativa con el Setm en este estudio, contrario a lo observado en otras investigaciones. En dos revisiones sistemáticas con meta-análisis se encontró que el IMC aumentado se asocia de forma significativa con el Setm (WMD = 0,79, IC 95 % = 0,38-1,20,  $p < 0,001$ ; SMD = 0,24, IC 95 % = 0,08-0,41,  $p = 0,003$ ) (4, 8). Por otra parte, una investigación realizada en el Ejército alemán halló diferencias significativas para el IMC entre el grupo con y sin Setm ( $p = 0,04$ ), pero cuando esta variable fue examinada en el análisis multivariado, no fue significativa ( $p = 0,3$ ) (52). En un modelo predictivo desarrollado por Garnock et al., el IMC no fue significativo para el Setm en reclutas de la marina (11). Yates y White tampoco encontraron diferencias significativas para el IMC entre el grupo con y sin Setm ( $p = 0,917$ ), en una muestra de reclutas de la naval australiana (53). Otros dos estudios evidenciaron que el IMC no se asocia de forma significativa con la patología enunciada en el personal militar ( $p > 0,05$ ) (54, 55). Una de las razones que explican las diferencias encontradas es que las revisiones sistemáticas con meta-análisis presentaron heterogeneidad en las muestras evaluadas (deportistas, población civil o militar).

Plisky et al. señalaron que los sujetos con un IMC  $\geq 20,2$  tenían 5,3 veces más riesgo de padecer Setm que sus contrapartes ( $p < 0,05$ ), sin embargo, dicho estudio fue realizado en una población de *runners* con una media de  $16,0 \pm 1,0$  años (56). Por su parte, Grier et al. encontraron que los sujetos con un IMC  $\geq 25$  y  $\geq 30$  tenían 1,77 y 2,72 veces más riesgo de sufrir LME en una brigada de combate en comparación con aquellos con un IMC  $< 25$  ( $p < 0,01$ ) (57). Aunque en el estudio precedente no se discriminó directamente el Setm, otra de las explicaciones a los resultados encontrados en esta investigación es que el promedio del IMC en los cadetes con o sin Setm fue  $< 25$ .

A pesar de que el IMC aumentado es un factor de riesgo para el Setm porque representa una mayor carga sobre el sistema óseo en los miembros inferiores (4, 8), en el personal militar la evidencia no es clara. Considerando que el IMC tiene importantes limitaciones por cuanto no permite discriminar

minar la distribución de la masa grasa y magra (58), se hace indispensable emplear diferentes herramientas para evaluar la composición corporal.

Este es el primer estudio que relaciona la procedencia (rural y urbana) con el Setm. Una de las posibles explicaciones a los resultados hallados es el estatus socioeconómico. En Colombia, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) indicó mayor pobreza monetaria y multidimensional en las zonas rurales del país (59). Un estudio realizado en adolescentes tunecinos evidenció que aquellos que tenían un bajo estatus socioeconómico presentaban resultados significativamente más bajos en la altura y la potencia del CMJ en comparación con los que tenían un estatus socioeconómico alto ( $p < 0,01$ ) (60). En esta misma investigación se encontró también que los sujetos más pobres tenían menor masa magra a diferencia de sus contrapartes ( $p < 0,05$ ) (60). El Hage et al., hallaron que la DMO de la cadera se correlacionó de forma positiva con el rendimiento en el salto vertical ( $r = 0,78$ ,  $p < 0,01$ ) y longitudinal ( $r = 0,67$ ,  $p < 0,05$ ) (61). Aunque hay muchas hipótesis en torno a los resultados encontrados, se necesitan más investigaciones para interpretar la asociación entre la procedencia rural y el Setm.

El sexo femenino y el antecedente de Setm también se asociaron de forma significativa con el Setm, conforme a la evidencia existente. Dos revisiones sistemáticas con meta-análisis demostraron que el sexo femenino se asocia de forma significativa con el Setm (OR = 2,35, IC 95 % = 1,58-3,50,  $p < 0,05$ ; RR = 1,71, IC 95% = 1,15-2,54,  $p = 0,008$ ) (1, 8). Igualmente, una revisión sistemática con meta-análisis encontró que el antecedente de Setm se asocia significativamente con esta patología (RR = 3,74, IC 95 % = 1,17-11,91,  $p = 0,03$ ) (8).

Las mujeres son más propensas a padecer diversas LME en la extremidad inferior en comparación con los hombres, debido a importantes diferencias anatómicas, hormonales y biomecánicas (8, 62, 63). Dentro de las más importantes se encuentran: el aumento del ángulo Q/ancho de la pelvis, la disminución de la escotadura intercondílea del fémur, mayor laxitud articular, el aumento de la flexibilidad de los isquiotibiales, el aumento de la

translación anterior de la tibia, el aumento de la pronación del pie y de la caída navicular, los efectos de los estrógenos en la función y el control neuromuscular, disminución de la relación H:Q (isquiotibiales / cuádriceps), la magnitud y sincronización alterada de la activación muscular, la propiocepción disminuida, el desequilibrio de los patrones de contracción muscular medial-lateral del cuádriceps, mayor valgo dinámico de la rodilla, entre otros (62).

En diferentes estudios se ha observado también que las mujeres presentan una menor condición física a diferencia de sus contrapartes (19, 20, 64). Esto las hace más vulnerables a sufrir cualquier tipo de lesión en el contexto militar, donde la exigencia es igual para hombres y mujeres. En el caso del antecedente de Setm, se cree que los sujetos que vuelven a lesionarse han tenido una curación ósea incompleta, sin embargo, también existe la hipótesis de que luego del primer episodio se genera la pérdida de DMO hasta por ocho años (8).

Desde el análisis biomecánico, se encontró que la altura del salto es una de las variables que más ha sido asociada con diversas LME. Un estudio realizado en futbolistas profesionales encontró que una mayor altura en el squat jump se asoció de forma significativa con un mayor riesgo de padecer cualquier tipo de lesión en los isquiotibiales (OR = 1,47; IC 95 % = 1,02-2,12;  $p \leq 0,05$ ) (33). Una investigación realizada por Gómez-Piqueras et al., también en jugadores de fútbol profesional, reportó diferencias significativas en la altura del CMJ (en la pretemporada) entre los sujetos lesionados y los no lesionados ( $p \leq 0,05$ ), siendo menor en los futbolistas sanos ( $35,56 \pm 3,94$  vs.  $40,43 \pm 4,42$ ) (36). Contrario a lo anterior, Iguchi et al., hallaron que una altura  $\leq 66$  cm (en contraste con  $> 66$  cm) en el vertical jump se relacionó de forma significativa con un mayor riesgo de sufrir distensión en los isquiotibiales (HR = 0,15; IC 95 % = 0,03-0,74;  $p \leq 0,05$ ) (34). Orr et al. evidenciaron que los sujetos que alcanzaron una altura entre 30-34 cm en el vertical jump, en contraste con los que lograron una altura  $\geq 55$  cm, tenían 2,12 (IC 95 % = 1,07-4,20) veces más riesgo de padecer diversas LME ( $p \leq 0,05$ ) (35).

Si bien la EDRFD, la CMF y la PLF presentan menos evidencia que la altura del salto, los estudios existentes han sido determinantes para desarrollar este análisis. Hewett et al. encontraron que mujeres atletas con ruptura del ligamento anterior cruzado (ACL) presentaron al inicio del seguimiento un aumento del 20 % en la fuerza de reacción del suelo vertical (vGRF) durante el aterrizaje en la prueba de drop jump (DJ), en comparación con las no lesionadas ( $p \leq 0,05$ ) (32). Una revisión sistemática con meta-análisis reportó que no hubo diferencias en la vGRF (en las fases de impacto y propulsión) entre los sujetos con antecedentes de fractura por estrés (tibial y metatarsal) y los que no; sin embargo, la tasa de carga en la fuerza de reacción del suelo vertical (LRvGRF) durante el aterrizaje fue significativamente más alta en la población lesionada ( $p \leq 0,01$ ) (37). Powell et al., hallaron que los sujetos con ruptura previa del tendón de Aquiles exhibían una mayor LRvGRF durante la fase de aterrizaje en el drop countermovement jump ( $p \leq 0,01$ ), a diferencia de sus contrapartes (38). Una investigación realizada en jugadores de voleibol reportó que los sujetos con antecedentes de tendinopatía patelar (en contraste con los que no) presentaban una mayor tasa de desarrollo del momento de la rodilla (RMDK) durante las fases excéntricas (en el impulso y el aterrizaje) en el spike jump ( $p \leq 0,05$ ) (39). Otro estudio realizado por Bisseling et al., reportó que los sujetos con tendinopatía patelar previa tenían mayor LRvGRF en el DJ durante el aterrizaje en comparación con los individuos sin esta condición ( $p \leq 0,01$ ), sin embargo, no encontraron diferencias significativas en la vGRF pico (40).

En contraste, una investigación evidenció que los sujetos con reconstrucción del ACL tenían una menor LRvGRF durante el aterrizaje y el despege en el DJ, en contraste con los individuos sanos ( $p \leq 0,05$ ) (41). Un estudio de casos y controles encontró que los jugadores de baloncesto lesionados presentaron una actividad excéntrica significativamente menor en el jump-shot durante el aterrizaje en comparación con los no lesionados ( $p \leq 0,01$ ) (42). Asimismo, una investigación realizada en sujetos con tendinopatía patelar reportó que aquellos que tuvieron una recuperación completa de su lesión (puntaje  $>80$  en el Victorian Institute of Sport Assessment [VISA])

presentaban valores significativamente mayores en la LRvGRF ( $p \leq 0,01$ ) y la RMDK ( $p \leq 0,05$ ) en el DJ durante el aterrizaje que sus contrapartes (40). Una de las hipótesis para los resultados encontrados en estos estudios es que los sujetos con lesiones recientes (o que no fueron tratadas adecuadamente) desarrollan un mecanismo de protección sobre la extremidad inferior afectada, por lo cual presentan una menor LRvGRF (39). Lastimosamente, en los estudios examinados no se evaluaron las asimetrías de la extremidad inferior en las personas lesionadas.

Considerando los hallazgos presentados, se cree que una mayor LRvGRF (en cualquiera de las fases del salto) en sujetos con antecedentes de lesión puede ser contraindicada si el tejido afectado no ha tenido una adecuada rehabilitación. De ser así, esto representaría una mayor carga durante un periodo de tiempo más corto sobre un tejido que no se encuentra completamente recuperado (43). Igualmente, se presume que una menor LRvGRF (en cualquiera de las fases del salto) manifiesta un mayor riesgo de lesión (en sujetos sanos o que tienen antecedentes de LME), ya que disminuye la capacidad de respuesta del músculo frente a un estímulo motor. Una mayor tasa de carga (LR, conocida también como tasa de desarrollo de la fuerza [RFD]) se traduce en la capacidad de desacelerar más rápidamente en la fase de impulso a través de la activación de los cuádriceps y así obtener una mayor fuerza y potencia muscular durante la contracción concéntrica (65, 66). Durante el aterrizaje, una mayor LR permitirá mantener el equilibrio y la estabilidad de la rodilla, y a atenuar las fuerzas de impacto (absorción de energía) a través de la desaceleración de la extremidad inferior (39, 42, 67).

La evidencia en torno a las variables cinéticas y el riesgo de padecer LME parece contradictoria. No obstante, los hallazgos encontrados son razonables debido a que los estudios citados analizaron diferentes LME y se realizaron en diversas poblaciones. Adicionalmente, se llevaron a cabo en diferentes momentos posteriores a la lesión. Solo dos estudios longitudinales encontraron que un aumento en la vGRF y una disminución de la actividad excéntrica durante el aterrizaje se asocian de forma significativa con diferentes LME (32, 42).

La altura del salto, la EDRFD, la CMF y la PLF no se asociaron de forma significativa con el Setm en este estudio. Las estrategias compensatorias (en los sujetos lesionados) que se dan a través de los diferentes grupos musculares de la extremidad inferior pueden ser la causa de los hallazgos. Esto fue denotado en un estudio de Siegmund et al. en jugadores de baloncesto con tendinopatía patelar (68). Sin embargo, se necesitan más investigaciones para dilucidar esta hipótesis.

La asimetría (sin tener en cuenta la dominancia [%]) de la CMF y de la PLF no se asociaron de forma significativa con el Setm en esta investigación. Se cree que estos resultados se deben a que el promedio de asimetría para las variables mencionadas se encontró por debajo de 15 %, que es el valor clínico de referencia para evaluar el riesgo de lesión y el retorno a la actividad deportiva en el caso de los atletas que han sufrido LME (43-45, 69, 70). Para la asimetría de la EDRFD (%), los individuos con Setm presentaron valores por encima de 15 %, pero no fueron significativos con respecto a los sujetos sanos.

Teniendo en cuenta la dominancia de la asimetría (% / VN), la EDRFD fue la única variable que se asoció de forma significativa con el Setm. Al analizar los resultados, se pudo evidenciar que los sujetos con Setm presentaron dominancia derecha, en contraste con los individuos no lesionados (dominancia izquierda) para la EDRFD. Algo que no tiene una explicación formal en el ámbito clínico.

En un análisis secundario, se examinó el grupo de cadetes con dominancia derecha e izquierda por separado para aclarar este fenómeno. En el grupo con dominancia izquierda para la EDRFD no se encontraron diferencias significativas entre los sujetos con y sin Setm; el grupo de lesionados se encontró por debajo de 15%. En el grupo con dominancia derecha para la EDRFD, los cadetes lesionados presentaron un porcentaje de asimetría significativamente mayor que los sanos ( $23,0 \% \pm 14,0 \%$  vs.  $14,7 \% \pm 9,8 \%$ ;  $p = 0,029$ ). Los sujetos con Setm exhibieron una asimetría mayor a 15 % (incluso se situaron por encima del 20 %), mientras que los individuos no lesionados estuvieron por debajo de este valor. Estos datos concuerdan con

el punto de referencia clínico enunciado en la literatura y con los resultados de otras investigaciones.

Paterno et al. encontraron que un grupo de atletas con reconstrucción del ACL tenía una asimetría del 37 % en contraste con un grupo de atletas sanos, el cual exhibía una asimetría del 7,7 % para la LRvGRF durante el aterrizaje en el DJ (43). La extremidad inferior lesionada presentó una menor LRvGRF en comparación con la no lesionada ( $p \leq 0,01$ ) (43). En otro estudio, un grupo de sujetos con esguince agudo de tobillo exhibió una asimetría de  $15,02 \% \pm 13,09 \%$ , mientras que el grupo control presentó una asimetría de  $5,76 \% \pm 4,16 \%$  para la RFD en la fase 1 (ascenso / despegue) del DJ ( $p = 0,001$ ) (44). En la fase 2 (aterrizaje), las personas lesionadas también exhibieron una asimetría significativamente mayor que sus contrapartes para la variable señalada ( $10,62 \% \pm 8,64 \%$  vs.  $4,35 \% \pm 3,49 \%$ ;  $p = 0,001$ ) (44). En ambas fases, se observó una menor RFD en la extremidad inferior lesionada, en comparación con la de los controles; sin embargo, esta diferencia solo fue significativa en la fase 2 ( $p = 0,01$ ) (44). Estos estudios apoyan la idea de que las asimetrías mayores a 15 % para la EDRFD se asocian con un mayor riesgo de padecer Setm.

De acuerdo con las investigaciones citadas, se observa que la pierna dominante en el salto para las variables enunciadas fue la no lesionada. Aunque los resultados no pueden ser comparables por el tipo de estudio, la población y el tipo de lesión examinada, en la presente investigación los cadetes se lesionaron en mayor proporción la extremidad inferior no dominante (35 %) en contraste con la dominante (18,3 %) con base en la EDRFD. Una de las hipótesis formuladas para explicar los resultados es que la pierna lesionada no dominante presenta una función neuromuscular disminuida que influye negativamente sobre la capacidad de desacelerar rápidamente en las fases de impulso y aterrizaje, lo cual afecta la obtención de una mayor fuerza y potencia muscular, así como la atenuación de las fuerzas de impacto al correr, saltar, entre otras (39, 42, 65-67). Por su parte, se cree que las lesiones que se presentaron en la extremidad inferior dominante se deben a la sobrecarga ejercida sobre el tejido musculoesquelético al despegar un

estímulo de fuerza rápidamente de manera repetida. Esto es especialmente común en los cadetes, quienes sufren un cambio de vida abrupto (26, 71), en el cual afrontan un gran volumen e intensidad de entrenamiento, así como incrementos repentinos en cualquiera de estos dos aspectos (72).

A partir del sexo, la procedencia, el antecedente de Setm y la asimetría de la EDRFD (% / VN) se planteó un modelo predictivo para el Setm, el cual tuvo una sensibilidad del 31,3 % y una especificidad del 99,1 % ( $p = 0,001$ ). El modelo propuesto en este estudio presenta gran similitud con el desarrollado por Garnock et al., para el Setm (11). Este último, incluyó el sexo, el antecedente de Setm y la rotación externa de cadera ( $p < 0,001$ ), y presentó una sensibilidad del 82 % y una especificidad del 84 % (11). Se espera que en futuras investigaciones se pueda hacer el estudio de diversas variables biomecánicas (cinéticas y cinemáticas) que permitan crear un modelo predictivo más robusto para el Setm.

La principal fortaleza de este estudio es que es el primero en analizar la asociación de diversas variables cinéticas implícitas en el CMJ con el Setm. A diferencia de la gran mayoría de investigaciones que son de corte transversal y que fueron realizadas posteriores a la lesión, este fue un estudio longitudinal prospectivo. El diseño del estudio permitió establecer los principales factores de riesgo asociados con el Setm antes de que los cadetes iniciaran su formación militar. Teniendo en cuenta esto, se obtuvo un modelo predictivo significativo para el Setm que servirá para identificar a los sujetos que se encuentren en mayor riesgo de sufrir esta patología cuando ingresan a la Esmic. Esto permitirá crear programas de prevención primaria para los cadetes expuestos. Otra de las fortalezas de este estudio fue que se tomó una muestra representativa de la población con mayor riesgo de presentar Setm y las condiciones controladas en las que se encontraron los cadetes, pues durante el tiempo de seguimiento todos los sujetos fueron sometidos a condiciones similares de alimentación, entrenamiento, descanso, entre otras. Las limitaciones más importantes fueron el corto tiempo de seguimiento y no haber examinado otras variables biomecánicas. Como perspectivas, se espera que en futuras investigaciones se realice la medición de diferentes

variables cinéticas y cinemáticas, a través de herramientas como el análisis del movimiento en 3D, la dinamometría lineal (*encoder lineal*) e isocinética (máquinas de fuerza isocinética), entre otras. Lo anterior, con el fin de obtener un conocimiento más amplio acerca de los factores de riesgo biomecánicos (cinéticos y cinemáticos) que pueden influir sobre el desarrollo del Setm.

## Conclusiones

Con base en el modelo predictivo planteado, se encontró que el sexo femenino, la procedencia rural, el antecedente de Setm y una mayor asimetría en la EDRFD son importantes factores de riesgo para el desarrollo del Setm. Estos hallazgos permitirán hacer una mejor predicción del Setm en el personal militar y son especialmente útiles para clasificar el riesgo en los cadetes que inician su formación militar. Debido a que el sexo, la procedencia y el antecedente de Setm son factores de riesgo no modificables, una gran asimetría en la EDRFD se convierte en un elemento fundamental que se debe tratar para deducir el riesgo en un programa de prevención primaria al ingreso de la Esmic.

Estos resultados también pueden ser potencialmente beneficiosos para cualquier tipo de población que se encuentre expuesta con frecuencia a esta patología (como por ejemplo los sujetos que practican atletismo). Debido a que estos resultados están siendo apenas descritos en la literatura, es necesario que se realicen nuevas investigaciones con el fin de dilucidar el papel que cumplen las variables cinéticas implícitas en el salto sobre el desarrollo del Setm. Igualmente, es necesario que se contemple la evaluación de diferentes variables (biomecánicas, antropométricas, sociodemográficas, entre otras), con el fin de que el Setm se analice de manera multifactorial hasta crear un modelo predictivo más robusto que el descrito en este estudio.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que esta investigación no presenta conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Agradecemos al personal del Dispensario Médico de la Escuela Militar de Cadetes por brindarnos su acompañamiento y colaboración en el diagnóstico y tratamiento del Setm.

## Referencias

1. Reinking MF, Austin TM, Richter RR, Krieger MM. Medial Tibial Stress Syndrome in active individuals: a systematic review and meta-analysis of risk factors. *Sports Health*. 2017;9(3):252-61.
2. Moen MH, Tol JL, Weir A, Steunebrink M, Winter TCD. Medial Tibial Stress Syndrome: a critical review. *Sports Medicine*. 2009;39(7):523-46.
3. Winkelmann ZK, Anderson D, Games KE, Eberman LE. Risk factors for Medial Tibial Stress Syndrome in active individuals: an evidence-based review. 2016. p. 1049-52.
4. Hamstra-Wright KL, Bay C, Bliven KCH. Risk factors for Medial Tibial Stress Syndrome in physically active individuals such as runners and military personnel: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(6):362-9.
5. Franklyn M, Oakes B. Aetiology and mechanisms of injury in Medial Tibial Stress Syndrome: current and future developments. *World Journal of Orthopaedics*. 2015;6(8):577-89.
6. Gómez-García S. Update on Medial Tibial Stress Syndrome. *Revista Científica General José María Córdova*. 2016;14(17):231-48. <https://doi.org/10.21830/19006586.13>
7. Reshef N, Guelich DR. Medial Tibial Stress Syndrome. *Clinics in Sports Medicine*. 2012;31:273-90.
8. Newman P, Witchalls J, Waddington G, Adams R. Risk factors associated with Medial Tibial Stress Syndrome in runners: a systematic review and meta-analysis. *Open Access J Sports Med*. 2013;4:229-41.
9. Magnusson HI, Westlin NE, Nyqvist F, Gardsell P, Seeman E, Karlsson MK. Abnormally decreased regional bone density in athletes with Medial Tibial Stress Syndrome. 2001. p. 712-5.
10. Zimmermann WO, Helmhout PH, Beutler A. Prevention and treatment of exercise related leg pain in young soldiers; a review of the literature and current practice in the Dutch Armed Forces. *Journal Of The Royal Army Medical Corps*. 2017;163(2):94-103.
11. Garnock C, Witchalls J, Newman P. Predicting individual risk for Medial Tibial Stress Syndrome in navy recruits. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2018;21(6):586-90.
12. Huret KG, Jones BH, Canham-Chervak M, Canada S, Bullock SH. Musculoskeletal injuries: description of an under-recognized injury problem among military personnel. *American Journal of Preventive Medicine*. 2010;38(1S):S61-S70.

13. Jones BH, Canham-Chervak M, Canada S, Mitchener TA, Moore LS. Medical surveillance of injuries in the U.S. Military: descriptive epidemiology and recommendations for improvement. *American Journal of Preventive Medicine*. 2010;38(1S):S42-S60.
14. Ruscio BA, Jones BH, Canham-Chervak M, Bullock SH, Burnham BR, Rennix CP, et al. A process to identify military injury prevention priorities based on injury type and limited duty days. *American Journal of Preventive Medicine*. 2010;38(1S):S19-S33.
15. Smith GS, Dannenberg AL, Amoroso PJ. Hospitalization due to injuries in the military. Evaluation of current data and recommendations on their use for injury prevention. *American Journal of Preventive Medicine*. 2000;18(1S):41-53.
16. Lauder TD, Baker SP, Smith GS, Lincoln AE. Sports and physical training injury hospitalizations in the army. *American Journal of Preventive Medicine*. 2000;18(1S):118-28.
17. Almeida SA, Williams KM, Shaffer RA, Luz JT, Badong E. A physical training program to reduce musculoskeletal injuries in U.S. Marine Corps Recruits. *Naval Health Research Center*; 1997.
18. Jones BH, Hansen BC. An armed forces epidemiological board evaluation of injuries in the military. *American Journal of Preventive Medicine*. 2000;18(3S):14-25.
19. Kaufman KR, Brodine S, Shaffer R. Military training-related injuries. Surveillance, research, and prevention. *American Journal of Preventive Medicine*. 2000;18(1S):54-63.
20. Jones BH, Knapik JJ. Physical training and exercise-related injuries. Surveillance, research and injury prevention in military populations. *Sports Med*. 1999;27(2S):111-25.
21. Bullock SH, Jones BH, Gilchrist J, Marshall SW. Prevention of physical training-related injuries recommendations for the military and other active populations based on expedited systematic reviews. *American Journal of Preventive Medicine*. 2010;38(1S):S156-S81.
22. Andersen K, Grimshaw P, Kelso R, Bentley D. Musculoskeletal lower limb injury risk in army populations. *Sports Medicine - Open*. 2016;2(1):1.
23. Knapik J, Ang P, Reynolds K, Jones B. Physical fitness, age, and injury incidence in infantry soldiers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 1993;35(6):598-603.
24. Abt JP, Sell TC, Lovalekar MT, Keenan KA, Bozich AJ, Lephart SM, et al. Injury epidemiology of U.S. Army special operations forces. *Military Medicine*. 2014;179(10):1106-12.
25. Teyhen DS, Shaffer SW, Butler RJ, Goffar SL, Kiesel KB, Plisky PJ, et al. What risk factors are associated with musculoskeletal injury in US Army Rangers? A prospective prognostic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2015;473(9):2948-58.
26. Neves EB, Eraso NM, Narváez YS, Rairan FSG, Garcia RCF. Musculoskeletal injuries in sergeants training courses from Brazil and Colombia. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017;20(2S):S117.
27. Yancosek KE, Roy T, Erickson M. Rehabilitation programs for musculoskeletal injuries in military personnel. *Current Opinion in Rheumatology*. 2012;24(2):232-6.
28. Songer TJ, LaPorte RE. Disabilities due to injury in the military. *American Journal of Preventive Medicine*. 2000;18(3S):33-40.

29. Lincoln AE, Smith GS, Amoroso PJ, Bell NS. The natural history and risk factors of musculoskeletal conditions resulting in disability among US Army personnel. *Work*. 2002;18(2):99.
30. Knapik JJ, Canham-Chervak M, Hauret K, Hoedebecke E, Laurin MJ, Cuthie J. Discharges during U.S. Army basic training: injury rates and risk factors. *Military Medicine*. 2001;166(7):641-7.
31. Psaila M, Ranson C. Risk factors for lower leg, ankle and foot injuries during basic military training in the Maltese Armed Forces. *Physical Therapy in Sport*. 2017;24:7-12.
32. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Colosimo AJ, Heidt Jr RS, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*. 2005;33(4):492-501.
33. Barnes CA, Henderson G, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(4):397-402.
34. Iguchi J, Watanabe Y, Kimura M, Fujisawa Y, Hojo T, Yuasa Y, et al. Risk factors for injury among Japanese collegiate players of American football based on performance test results. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. 2016;30(12):3405-11.
35. Orr R, Pope R, Peterson S, Hinton B, Stierli M. Leg power as an indicator of risk of injury or illness in police recruits. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(2).
36. Gómez-Piqueras P, González-Víllora S, Sainz de Baranda Andújar MDP, Contreras-Jordán OR. Functional assessment and injury Risk in a professional soccer team. *Sports (Basel, Switzerland)*. 2017;5(1).
37. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clinical Biomechanics*. 2011;26(1):23-8.
38. Powell HC, Silbernagel KG, Brorsson A, Tranberg R, Willy RW. Individuals post-Achilles tendon rupture exhibit asymmetrical knee and ankle kinetics and loading rates during a drop countermovement jump. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2018;48(1):34-43.
39. Bisseling RW, Hot AL, Bredeweg SW, Zwerver J, Mulde T. Are the take-off and landing phase dynamics of the volleyball spike jump related to patellar tendinopathy? *British Journal of Sports Medicine*. 2008;42(6):483-9.
40. Bisseling RW, Hof AL, Bredeweg SW, Zwerver J, Mulder T. Relationship between landing strategy and patellar tendinopathy in volleyball. *British Journal of Sports Medicine*. 2007;41(7):e8.
41. Decker MJ, Torry MR, Noonan TJ, Riviere A, Sterett WI. Landing adaptations after ACL reconstruction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002;34(9):1408-13.

42. Louw Q, Grimmer K, Vaughan C. Knee movement patterns of injured and uninjured adolescent basketball players when landing from a jump: a case-control study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2006;7.
43. Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2007;17(4):258-62.
44. Doherty C, Sweeney K, Caulfield B, Delahunt E, Bleakley C, Hertel J, et al. Lower extremity coordination and symmetry patterns during a drop vertical jump task following acute ankle sprain. *Human Movement Science*. 2014; 38:34-46.
45. Menzel H-J, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SRS, de Andrade AGP, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. 2013;27(5):1370-7.
46. Fischer F, Fink C, Blank C, Dünwald T, Gföller P, Hoser C, et al. Isokinetic extension strength is associated with single-leg vertical jump height. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2017;5(11).
47. Claudino JG, Mezêncio B, Amadio AC, Serrão JC, Cronin J, McMaster DT, et al. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: a meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017;20(4):397-402.
48. Wang H, Frame J, Ozimek E, Leib D, Dugan EL. The effects of load carriage and muscle fatigue on lower-extremity joint mechanics. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2013;84(3):305-12.
49. Santtila M, Kyröläinen H, Häkkinen K. Changes in maximal and explosive strength, electromyography, and muscle thickness of lower and upper extremities induced by combined strength and endurance training in soldiers. *Journal Of Strength And Conditioning Research*. 2009;23(4):1300-8.
50. O’Kane JW, Sabado L, Tencer A, Neradilek M, Polissar N, Schiff MA. Risk factors for lower extremity overuse injuries in female youth soccer players. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2017;5(10).
51. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. 2010. p. 1968-78.
52. Moen MH, Bongers T, Bakker EW, Zimmermann WO, Weir A, Tol JL, et al. Risk factors and prognostic indicators for Medial Tibial Stress Syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2012;22(1):34-9.
53. Yates B, White S. The incidence and risk factors in the development of Medial Tibial Stress Syndrome among naval recruits. *American Journal of Sports Medicine*. 2004;32(3):772-80.
54. Sobhani V, Shakibae A, Jahandideh D, Aghda AK, Meybodi MK, Delavari A. Studying the relation between Medial Tibial Stress Syndrome and anatomic and anthropo-

- metric characteristics of military male personnel. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2015;6(2):1-5.
55. Burne SG, Khan KM, Boudville PB, Mallet RJ, Newman PM, Steinman LJ, et al. Risk factors associated with exertional medial tibial pain: a 12 month prospective clinical study. *British Journal of Sports Medicine*. 2004;38(4):441-5.
  56. Plisky MS, Rauh MJ, Underwood FB, Tank RT, Heidereich B. Medial Tibial Stress Syndrome in high school cross-country runners: incidence and risk factors. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2007;37(2):40-7.
  57. Grier T, Canham-Chervak M, McNulty V, Jones BH. Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army brigade combat team. *US Army Medical Department journal*. 2013:36-47.
  58. Orgel E, Sposto R, Freyer DR, Mittelman SD, Mueske NM, Gilsanz V. Limitations of body mass index to assess body composition due to sarcopenic obesity during leukemia therapy. *Leukemia and Lymphoma*. 2018;59(1):138-45.
  59. DANE. Pobreza Monetaria y Multidimensional en Colombia: año 2017. 2018.
  60. Tounsi M, Aouichaoui C, Bouhlel E, Tabka Z, Trabelsi Y. Effect of socioeconomic status on leg muscle power in tunisian adolescent athletes. *Science and Sports*. 2017;32(5):303-11.
  61. El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Performances in vertical jump and horizontal jump tests are positive determinants of hip bone mineral density in a group of young adult men. *Journal of Clinical Densitometry*. 2015;18(1):136-7.
  62. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: part 1, mechanisms and risk factors. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006;34(2):299-311.
  63. Song J, Choe K, Neary M, Cameron KL, Zifchock RA, Trepa M, et al. Comprehensive biomechanical characterization of feet in USMA cadets: comparison across race, gender, arch flexibility, and foot types. *Gait and Posture*. 2018; 60:175-80.
  64. Knapik JJ, Sharp MA, Canham-Chervak M, Hauret K, Patton JF, Jones BH. Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(6):946-54.
  65. Cormie P, Newton RU, McGuigan MR. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010;42(9):1731-44.
  66. Jakobsen MD, Sundstrup E, Andersen LL, Randers MB, Krstrup P, Kjær M, et al. The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Human Movement Science*. 2012;31(4):970-86.
  67. Caserotti P, Aagaard P, Simonsen EB, Puggaard L. Contraction-specific differences in maximal muscle power during stretch-shortening cycle movements in elderly males and females. *European Journal of Applied Physiology*. 2001;84(3):206-12.

68. Siegmund JA, Huxel KC, Swanik CB. Compensatory mechanisms in basketball players with jumper's knee. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2008;17(4):358-71.
69. Vernillo G, Pisoni C, Thiebat G. Strength asymmetry between front and rear leg in elite snowboard athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2016;26(1):83-5.
70. Fort-Vanmeerhaeghe A, Montalvo AM, Sitjà-Rabert M, Kiefer AW, Myer GD. Neuromuscular asymmetries in the lower limbs of elite female youth basketball players and the application of the skillful limb model of comparison. *Physical Therapy in Sport*. 2015;16(4):317-23.
71. Lopes TJA, Simic M, Pappas E, Bunn PS, Terra BS, Alves DS, et al. Prevalence of musculoskeletal symptoms among brazilian merchant navy cadets: differences between sexes and school years. *Military Medicine*. 2017;182(11):e1967-e72.
72. Almeida SA, Williams KM, Shaffer RA, Brodine SK. Epidemiological patterns of musculoskeletal injuries and physical training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1999;31(8):1176-82.



*Jenner Rodrigo Cubides Amézquita*

El entrenamiento físico de un militar está condicionado por factores tanto medioambientales como genéticos, pero el determinante más relevante que tiene un impacto significativo en las condiciones de salud y que se ve influenciado por los hábitos, está representado por los estilos de vida. En efecto, mantener una preparación física adecuada se convierte en un importante factor de bienestar y salud. El militar que pertenezca a cualquier fuerza de seguridad del Estado necesita *per se* un buen nivel de preparación, dada las altas demandas de actividad física y mental durante el desarrollo de las labores propias de su profesión, bien sea durante los tiempos de entrenamiento, bien sea en el desarrollo de sus deberes en los diferentes teatros de operaciones.

La vigilancia y monitorización del nivel del acondicionamiento físico en cualquier militar debe ser un hito fundamental, que tiene que ser evaluado y analizado en el desempeño operacional, así como los mecanismos para asegurar las destrezas del personal combatiente. Un estado físico adecuado puede proteger al soldado contra noxas estresantes propias del desarrollo de su actividad, lo mismo que una reducción de otras complicaciones ante cualquier tipo de lesión. Es sabido que el entrenamiento intensivo disminuye los factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares, llevando a una pérdida del peso corporal por reducción del porcentaje de grasa visceral y a un aumento del nivel cardio-respiratorio. Estos hallazgos se traducen igualmente en una reducción del riesgo de morbi-mortalidad, tras obtener mejoras en el bienestar relacionado con la calidad de vida.

Debido a que la preparación física ha sido conceptualizada como un constructo multidimensional (resistencia cardio-respiratoria, potencia muscular, resistencia muscular, flexibilidad, composición corporal), su evaluación incluye múltiples baterías y diversas pruebas que han sido elaboradas en laboratorios y centros de alto rendimiento, pero adaptadas a los campos específicos del entrenamiento físico-militar. En este libro se abarcaron e implementaron algunas herramientas de medición propias de los centros de investigación en actividad física, como son el uso de la bioimpedancia eléctrica en la determinación de la composición corporal, el uso de plataformas de fuerza y aceleradores inerciales para la cuantificación de la fuerza propulsiva y potencia muscular de miembros superiores e inferiores, lo mismo que la determinación de las asimetrías en las diferentes fases del salto evaluadas. También se usaron pruebas específicas como el test de «Sit and Reach», 90-90 y el test de ELY en la evaluación de la flexibilidad de grupos de deportistas militares. De otra parte, se utilizaron pruebas de campo adaptadas al medio militar y deportivo que son un reflejo indirecto de lo que sucede en un equipo de laboratorio (el uso del test de Cooper con respecto a algunas variables ventilatorias obtenidas mediante un ergoespirómetro).

Dentro de las contribuciones que esta obra aporta para llenar el vacío en el conocimiento acerca del del entrenamiento físico militar, se puede mencionar que es la primera iniciativa de aproximación en la evaluación del nivel de preparación física del militar colombiano. Todos los estudios de esta compilación parten de una rigurosidad científica desde la perspectiva metodológica, que permiten asimismo la reproducibilidad de las pruebas (validez externa). Esto último es la base para que otros investigadores hagan la determinación de los baremos de las variables físicas, fisiológicas y biomecánicas del estado y capacidades físicas de la población militar en el país. Los autores son conscientes que dentro de la ejecución de los trabajos que componen la obra se hallan limitantes en algunos estudios en cuanto al número de la muestra, pero corresponden a grupos poblacionales pequeños. Además, téngase en cuenta que esto abre la posibilidad para que nuevos estudios con muestras más representativas puedan ser contrastados con los resultados aquí obtenidos, mejorando así la validez interna de los mismos.

Este libro es el primer paso de una serie de investigaciones en rendimiento físico militar y factores asociados a la salud en miembros activos del Ejército Nacional, que buscará primero caracterizar, evaluar y determinar los planes de entrenamiento que optimicen los pilares de la doctrina a nivel institucional. La meta última es alcanzar mejores condiciones físicas para el combatiente, en pro de una mejor calidad de vida y seguridad en el desempeño operacional.



## Caracterización del *fitness* del militar colombiano

Una de las grandes limitantes en la aplicación de la investigación con población militar es que se importan datos de otros estudios que no reflejan las características ni condiciones del soldado colombiano, y aun así se aplican y apropian como si se tratara de la misma muestra de estudio. En respuesta a esta situación, la obra publica resultados de investigación sobre el rendimiento físico del militar colombiano con el fin de que la comunidad académica cuente con descripciones de las variables que forman parte del *entrenamiento físico* de esta población.

Se trata del primer intento de caracterizar —con la mejor evidencia disponible y tecnología de punta— sus capacidades físicas, fisiológicas y biomecánicas. Una de las principales contribuciones de este libro al conocimiento del entrenamiento físico militar es que constituye la primera iniciativa de aproximación a la evaluación del nivel de preparación física del militar colombiano. La rigurosidad científica de los estudios de esta compilación permite la reproducibilidad de las pruebas (validez externa) y marca la ruta de una serie de investigaciones en rendimiento físico militar y factores asociados a la salud en miembros activos del Ejército Nacional, la cual buscará caracterizar, evaluar y determinar los planes de entrenamiento que optimicen los pilares de la doctrina en la institución. La meta última es alcanzar mejores condiciones físicas para el combatiente en pro de una mejor calidad de vida y seguridad en el desempeño operacional.



ESCUELA MILITAR DE CADETES  
"General José María Córdova"



ISBN 978-958-52414-3-5



9 789585 241435