



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS MÉDICAS, ODONTOLÓGICAS
Y DE LA SALUD
CAMPO DISCIPLINARIO EN EPIDEMIOLOGÍA CLÍNICA**

**Validez de criterio concurrente de las ecuaciones antropométricas para la estimación de masa
grasa en atletas adultos de alto rendimiento, en comparación con los métodos de referencia:
Revisión Sistemática de la Literatura.**

T E S I S

**que para optar por el grado de:
Maestra en Ciencias de la Salud**

P R E S E N T A:

L.N. CRISTINA MARLEN PLASCENCIA MARURI

TUTORA:

Dra. en C.S. Lucía Méndez Sánchez
Unidad de Investigación en Epidemiología Clínica, HIMFG

COMITÉ TUTOR:

Dra. Ma. Luisa Peralta Pedrero
Centro Dermatológico Dr. Ladislao de la Pascua
Dra. Patricia Elena Clark Peralta
Unidad de Investigación en Epidemiología Clínica, HIMFG

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, octubre 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

Marco teórico: La composición corporal (CC) se refiere al estudio atómico, molecular o tisular de los distintos componentes del cuerpo humano. Existen diferentes métodos para el análisis de la CC y éstos pueden clasificarse como directos, indirectos y doblemente indirectos. Dentro de los métodos doblemente indirectos destaca la antropometría (medición del cuerpo humano), la cual se basa en ecuaciones de regresión generadas al compararse con métodos indirectos: incluyendo la Tomografía Axial Computarizada (TAC), las imágenes por Resonancia Magnética Nuclear (RMN), hidrometría (pesaje bajo el agua) y densitometría mediante la absorciometría dual de rayos X (DXA), principalmente.

¿Por qué hacer esta revisión?: Debido a que no existe un consenso estandarizado sobre el método apropiado para la evaluación de la CC, un primer paso para la generación de esta información tan indispensable en el manejo integral del deportista es conocer cuáles ecuaciones antropométricas tienen mayor capacidad de predicción en esta población. Por lo tanto, la realización de este protocolo de revisión sistemática representa un gran beneficio para los especialistas del deporte dado que se enfoca en la búsqueda de la mejor evidencia disponible para poder diagnosticar su CC.

Objetivo General: Determinar la validez de criterio concurrente de las ecuaciones antropométricas para la estimación de la masa grasa en atletas adultos de alto rendimiento, en comparación a los métodos de referencia.

Métodos: Se realizó una revisión sistemática de la literatura, en la cual, se incluyeron estudios primarios para evaluar la validez de criterio concurrente de ecuaciones antropométricas que estimaran la masa grasa en población adulta de atletas de alto rendimiento de cualquier disciplina deportiva, y que se hayan comparado contra alguno de estos métodos de referencia: absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), resonancia magnética nuclear (RMN), tomografía axial computarizada (TAC) o modelos multicomponentes. Se realizó una búsqueda utilizando las bibliotecas electrónicas de PubMed, Tripdatabase, LILACS y Cochrane Library. Los términos de búsqueda fueron: Body composition in athletes, Body composition assessment in athletes, Validity of anthropometric equations, Body composition assessment in sport, Anthropometric measurements in sport y Body fat equations in athletes. El análisis de riesgo de sesgo se realizó con la herramienta QUADAS-2. Tanto la búsqueda sistemática, como la evaluación de riesgo de sesgo, se realizaron de forma pareada e independiente por dos investigadores.

Resultados: Se identificó un total de 3,083 artículos que resultaron de la búsqueda en las bibliotecas electrónicas, de los cuales, cuatro fueron incluidos en esta revisión sistemática. Las disciplinas deportivas practicadas por los participantes de los estudios fueron fútbol, fútbol gaélico, hurling, béisbol, voleibol, softbol, atletismo, basquetbol, gimnasia y natación, encontrándose en diferentes etapas de la preparación deportiva. Se realizó un análisis para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos mediante la utilización de la herramienta QUADAS-2 (Evaluación de la calidad de los estudios de precisión diagnóstica).

Conclusiones: Los estudios incluidos reportaron un total de 11 ecuaciones antropométricas para la estimación de masa grasa, comparándose contra modelos multi-componentes y DXA en una muestra total de 231 participantes. Son escasos los estudios que evalúan la validez de las ecuaciones antropométricas, hecho que genera que sigan surgiendo más ecuaciones que carecen de la calidad metodológica y exactitud en sus estimaciones, disminuyendo de este modo la probabilidad de hacer un correcto diagnóstico en esta población y, por lo tanto, una inadecuada intervención y seguimiento.

Índice

	Pág.
Índice de tablas y figuras	1
Dedicatoria	2
Agradecimientos	2
Abreviaturas	3
Revisión sistemática	5
Marco teórico	5
Antecedentes	14
Planteamiento del problema	17
¿Por qué hacer esta revisión?	17
Pregunta de revisión sistemática	18
Objetivos	18
Objetivo principal	18
Objetivos específicos	18
Métodos	19
Criterios de selección de estudios para esta revisión	19
Tipos de estudios	19
Tipo de participantes	19
Tipo de intervenciones	19
Tipo de medidas de desenlace	19
Métodos de búsqueda para la identificación de estudios	19
Selección de los estudios	20
Extracción y manejo de datos	20
Riesgo de sesgo y calidad metodológica	20
Análisis estadístico y síntesis de datos	21
Interpretación de resultados y conclusiones	22
Resultados	23
Estudios incluidos	24
Estudios excluidos	28
Riesgo de sesgo de los estudios incluidos	30
Heterogeneidad de los estudios incluidos	32
Discusión	32
Conclusiones	35
Implicaciones para la práctica	35
Implicaciones para la investigación	35
Recursos y financiamiento	36
Consideraciones éticas	36
Anexos	37
Referencias bibliográficas	47

Índice de tablas y figuras

	Pág.
Tabla 1. Abreviaturas	3
Figura 1. Los cinco niveles de análisis de composición corporal	5
Figura 2. Clasificación de los Métodos de evaluación de la composición corporal	7
Figura 3. Masa grasa y masa libre de grasa	7
Figura 4. Absorciometría de rayos X de energía dual (DXA)	9
Figura 5. Medición del pliegue de la cresta iliaca	11
Figura 6. Aplicación de la antropometría en campo	13
Tabla 2. Elementos de la pregunta de investigación	14
Tabla 3. Evidencia previa del tema en revisiones sistemáticas	16
Figura 7. Aspectos considerados para hacer esta revisión	18
Figura 8. Nuevo ecosistema de las revisiones Cochrane	22
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios incluidos	23
Tabla 4. Características de los estudios incluidos	24
Tabla 5. Ecuaciones antropométricas y pruebas de referencia reportadas en los estudios	25
Tabla 6. Ecuaciones antropométricas y variables	26
Tabla 7. Resumen de ecuaciones antropométricas para estimar la grasa corporal basadas en DXA y un modelo de 4-C	27
Tabla 8. Características generales de los estudios excluidos	28
Figura 10. Resumen del riesgo de sesgo y precauciones de aplicabilidad en los estudios incluidos	30
Figura 11. Gráfico de barras acumulativo del riesgo de sesgo y las preocupaciones de aplicabilidad en los estudios incluidos	32
Figura 12. Análisis de factibilidad	37
Tabla 9. Resultados del análisis de factibilidad	38
Figura 13. Diagrama de flujo de la búsqueda e inclusión de revisiones sistemáticas que sustentan la factibilidad de la revisión	45
Figura 14. Adaptación de la herramienta AMSTAR-2 (herramienta de evaluación crítica de revisiones sistemáticas de estudios de intervenciones de salud)	46

Dedicatoria

A mi familia, por creer en mí y apoyarme en todo momento. Por ser mi más grande motor.

A Fernando, por su amor incondicional y siempre alentarme a cumplir mis sueños.

Agradecimientos

A la Dra. Lucía Méndez, por dedicarme su valioso tiempo, paciencia y guiarme paso a paso durante todo el proceso y desarrollo de este proyecto de investigación.

A la Dra. María Luisa Peralta, por todo su apoyo, accesibilidad y tiempo brindado a lo largo del posgrado.

A mis amigos: Esteban, Yuli, Brenda, Ana, Linda y Erick por todo su cariño, apoyo y ser parte importante de esta aventura. Me considero muy afortunada por contar con ustedes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por proporcionar los recursos e incentivos para la realización de este posgrado.

A la Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (CONADE), por el apoyo y flexibilidad proporcionada.

Y finalmente, a la máxima casa de estudios. A la UNAM, por cobijarme durante estos dos años a través de la Facultad de Medicina con el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud.

Abreviaturas

Tabla 1. Abreviaturas

Abreviaturas	Significado
Ab	Pliegue abdominal
ACT	Agua Corporal Total
Af	Afrodescendientes
ANIV	Activación de neutrones in vivo
Ax	Pliegue axilar
B	Raza blanca
Bi	Pliegue bicipital
BIA	Bioimpedancia eléctrica
CC	Composición corporal
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONADE	Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte
D&W	Durnin & Womersley
DC	Densidad Corporal
DXA	Absorciometría de rayos X de energía dual
EEE	Error estándar de estimación
ET	Error total
ETM	Error técnico de medición
FFM	Fat free mass (masa libre de grasa)
FHW	Forneti Height and weight (ecuación de Forneti basada en talla y peso)
H	Hombres
IRM	Imagen por Resonancia Magnética
ISAK	International Society for the Advancement of Kinanthropometry
IWGK	International Working Group on Kinanthropometry
LMS	Dra. Lucía Méndez Sánchez
M	Mujer
MC	Masa Corporal
MG	Masa Grasa
MLG	Masa Libre de Grasa
Mo	Mineral óseo
Mu	Pliegue de Muslo
NA	No aplica
NIR	Near Infrared (Infrarrojo cercano)

NR	No reportado
Pa	Pliegue de pantorrilla
Pe	Pliegue de pectoral
PECOS	Acrónimo: Pacientes, Exposición, Comparador, Outcome (Resultado), Study (Estudio)
PMCM	Plascencia Maruri Cristina Marlen
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PROSPERO	International prospective register of systematic reviews
QUADAS-2	Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies
R	Valor de correlación
R ²	Coefficiente de determinación
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
RS	Revisión Sistemática
SE	Pliegue subescapular
SPE	Pliegue supraespinal
SPI	Pliegue suprailíaco
Sum7	sumatoria de 7 pliegues (pectoral, axilar, tricípital, abdominal, suprailíaco, subescapular y pantorrilla)
SVEG	Sánchez Vázquez Erick Gabriel
T	Pliegue tricípital
TA	Tejido Adiposo
TAC	Tomografía Axial Computarizada
TOBEC	Conductividad Eléctrica Corporal Total
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USA	Estados Unidos
UWW	Underwater weight (pesaje hidrostático)
VC	Volumen Corporal
Σ2SKf	Sumatoria de 2 pliegues (muslo y pantorrilla)
Σ3SKf	Sumatoria de 3 pliegues (tricípital, abdominal y muslo)
Σ4AT	Sumatoria de 4 pliegues (subescapular, tricípital, bicipital y supraespinal)
Σ6SKf	Sumatoria de 6 pliegues cutáneos (bicipital, tricípital, subescapular, cresta iliaca, pierna y pantorrilla)
%BF	% Body Fat (% de masa grasa)
%MG	% de masa grasa
3-C	Modelo de 3 componentes
4-C	Modelo de 4 componentes
5-C	Modelos de 5 componentes

1. REVISIÓN SISTEMÁTICA

1.1 Marco teórico

La evaluación de la composición corporal (CC) es un aspecto fundamental de la valoración funcional del cuerpo humano en la salud, en la clínica y en el rendimiento físico (1).

Se define como aquella rama de la biología humana que se ocupa de la cuantificación in vivo de los componentes corporales, las relaciones cuantitativas entre los componentes y los cambios cuantitativos en los mismos relacionados con factores influyentes (2).

Para llevar a cabo un adecuado análisis de la composición corporal será necesario delimitar la composición del cuerpo humano en función de sus diferentes componentes, fraccionamiento del que resultarán distintos modelos de composición corporal o modelos compartimentales.

De acuerdo con Wang et al. (2) el cuerpo humano se organiza en 5 niveles: el nivel atómico con los elementos básicos de oxígeno, carbono, hidrógeno y otros; ; el nivel molecular compuesto por agua, proteínas y grasas; el nivel celular formado por el líquido extracelular, sólidos extracelulares y masa celular corporal; el nivel tisular compuesto de tejido adiposo, esquelético y muscular principalmente; y finalmente el nivel global en el que la composición corporal no es resultado del fraccionamiento del cuerpo, pero sí de las propiedades de éste como talla, índice de masa corporal, superficie corporal y densidad corporal (2). (Figura 1).

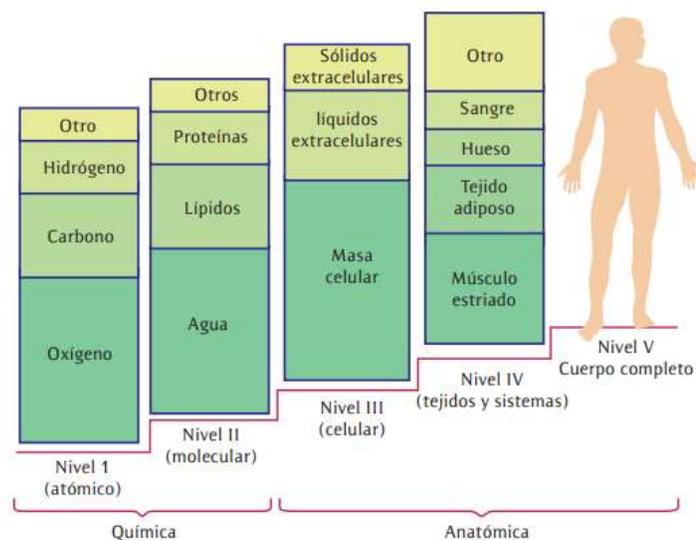


Figura 1. Los cinco niveles de análisis de composición corporal Wang et al., 1992. Tomado de Holway, F. 2011.

Dentro de estos enfoques, también debemos comprender que las técnicas para evaluar la CC se pueden categorizar como directas, la cual se realiza únicamente mediante la disección de cadáveres, y es el método que sirvió como punto de partida para generar los métodos indirectos, en los cuales se mide un parámetro sustituto para estimar la composición tisular o molecular; y finalmente, los métodos doblemente indirectos, donde una medida indirecta se utiliza para predecir otra medida indirecta (es decir, mediante ecuaciones de regresión) (3). (Figura 3).

Los métodos indirectos de evaluación de la composición corporal no realizan la manipulación de los tejidos que son analizados, por lo que se realiza un análisis in vivo. Estos métodos son validados a partir del método directo o de la densitometría y posibilitan medir/estimar los tejidos corporales. A pesar de tener alta fiabilidad, son poco accesibles, limitados y con alto coste financiero.

Los métodos doblemente indirectos también son técnicas para medir la composición corporal in vivo y en general, fueron validados a partir de los métodos indirectos y por ello, presentan un margen de error muy grande cuando son comparados con los métodos indirectos, sin embargo, debido a los altos costes de los métodos indirectos, los métodos doblemente indirectos como la antropometría y la impedancia bioeléctrica ganan importancia debido a su sencillez, seguridad, facilidad de interpretación y bajas restricciones culturales (4,5).

En el ámbito deportivo, el estudio de la composición corporal representa un elemento clave para la valoración del rendimiento físico de los atletas, además de que se ha convertido en un recurso esencial para la planificación y monitoreo del estado nutricional en esta población.

El deporte de alto rendimiento es aquel que se practica con altas exigencias técnicas y científicas de preparación y entrenamiento, que permite a los deportistas participar en preselecciones y selecciones nacionales que representan al país en competiciones y pruebas oficiales de carácter internacional (6).

En los atletas de alto rendimiento, tanto la masa de tejido blando libre de grasa como la masa grasa son de particular interés ya que están relacionados con el rendimiento físico, así como con el riesgo de lesiones y enfermedades. De hecho, cada vez es más común que los atletas de alto rendimiento evalúen regularmente los cambios en la composición corporal para determinar la efectividad del entrenamiento y las intervenciones nutricionales. Además, dado que pequeños cambios en la composición corporal pueden afectar el rendimiento deportivo, es importante que los métodos de evaluación tengan una buena precisión (7).

Si bien la evaluación de la composición corporal es una práctica rutinaria en el deporte, sigue habiendo un debate considerable sobre las mejores herramientas disponibles, y la técnica elegida a menudo se basa en la conveniencia en lugar de comprender el método y sus limitaciones (8).

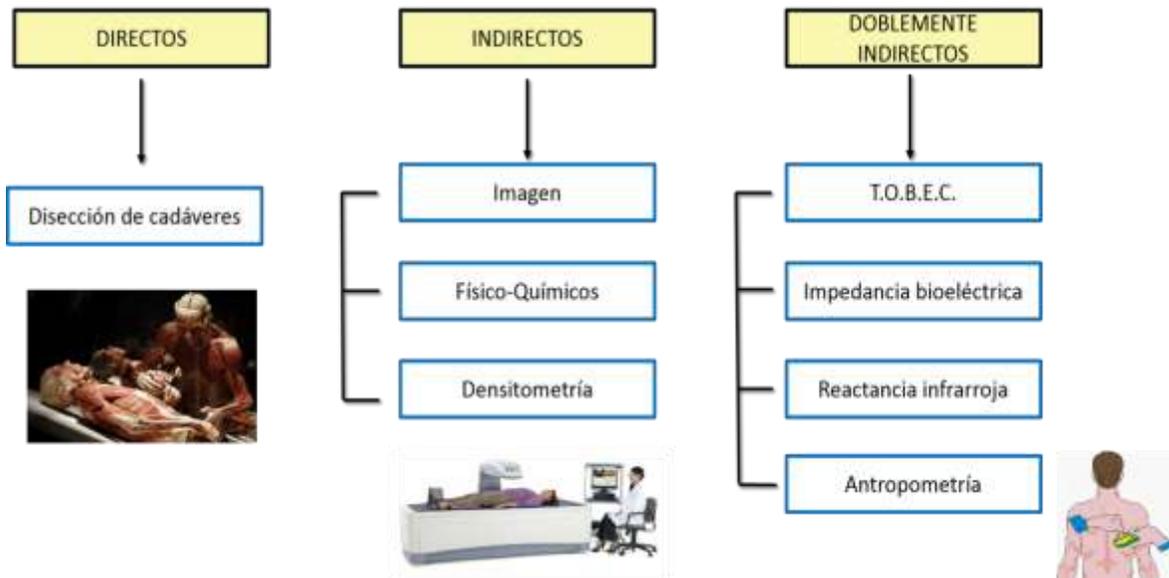


Figura 2. Clasificación de los Métodos de evaluación de la composición corporal (Modificado de Ackland et al., 2012).

Masa grasa

La grasa es un componente del cuerpo humano que se acumula en forma de tejido graso o adiposo. En la actualidad se reconoce que el tejido adiposo (TA), además de ser la reserva de lípidos, es un órgano endocrino que produce una variedad de hormonas y citoquinas que regulan el metabolismo e influyen en la composición corporal (9).

Ha sido de gran interés cuantificarla tanto en la población general debido a las implicaciones que su exceso genera en la salud, como en la población atlética debido al impacto que tiene en el rendimiento deportivo.



Figura 3. Masa grasa y masa libre de grasa

Métodos de referencia

Hay un número de métodos altamente sofisticados, pero caros que pueden ser usados para obtener medidas de referencia de la CC, incluyendo la TAC (Tomografía Axial Computarizada), las imágenes por RMN (Resonancia

Magnética Nuclear), y el análisis de activación neutrónica. Alternativamente, la densitometría, hidrometría y la absorciometría dual por rayos X (DXA), son más comúnmente usados en el marco de la investigación para obtener medidas de referencia de la CC (10).

Los métodos indirectos y las combinaciones de estos, como el método de cuatro compartimentos (4C), que requiere la medición de la CC con pletismografía de desplazamiento de aire (BOD-POD), dilución isotópica con óxido de deuterio (D₂O) y absorciometría dual por rayos X (DXA), suelen utilizarse como método de referencia (11).

Los mejores métodos de referencia para la estimación de la grasa corporal son los modelos multicomponente, definidos como aquellos métodos que dividen el cuerpo en 3 o más componentes. Tanto su precisión como su exactitud están en el orden del 1–2%. Se encuentran disponibles modelos elaborados de 6, 5, 4 y 3 componentes para la estimación de la grasa corporal (12).

El modelo de 4 componentes que utiliza la densidad corporal, el agua corporal y el mineral óseo es el método más utilizado y, en la actualidad, es el principal método de referencia para la composición corporal (13).

Modelo de tres componentes (3-C)

Para reducir los supuestos incluidos en el modelo de dos componentes, se han desarrollado otros modelos multicomponentes. El modelo de tres componentes es similar al modelo de dos componentes, pero incluye una estimación adicional de algún componente de MLG, como ACT (es decir, grasa, agua, masa residual), utilizando técnicas de dilución de agua marcada con tritio o deuterio. Los componentes medibles son el peso corporal, el ACT y el volumen corporal para derivar estimaciones de MG, ACT y MLG seco (mineral y proteína). La estimación de la composición corporal a partir de esta técnica asume niveles de hidratación específicos (13). Existen otros modelos de tres componentes donde se miden directamente otros componentes de MLG.

Modelo de cuatro componentes (4-C)

El modelo de cuatro componentes se basa en el modelo de tres componentes agregando una estimación de mineral (es decir, grasa, agua, mineral y residual).

Las cantidades medibles son masa corporal (MC), volumen corporal (VC), agua corporal total (ACT) y un mineral. El volumen corporal se mide mediante pesaje bajo el agua, pletismografía por desplazamiento de aire o análisis de activación de neutrones in vivo (ANIV). El ACT se deriva típicamente de una dilución de agua marcada con tritio o deuterio, y el mineral óseo (Mo) se deriva a través de DXA. La ecuación es la siguiente:

$$MC = MG + ACT + Mo + \text{residual}$$

Se han derivado varias ecuaciones para predecir la composición corporal a partir de modelos de cuatro componentes, particularmente MG. Las mejoras más recientes en las estimaciones han sido para niños y adolescentes y tejido blando magro.

Los modelos de cuatro componentes tienen enormes ventajas sobre otros métodos de laboratorio porque combinan los puntos fuertes de varios métodos de bajo error para proporcionar una estimación general precisa de la composición corporal. Sin embargo, es importante enfatizar que un modelo apropiado de cuatro componentes es aquel que utiliza métodos de laboratorio para medir los cuatro componentes. Existe una tendencia creciente en algunos laboratorios a utilizar métodos de campo para medir algunos de estos componentes. Cuando se hace esto, aumenta el nivel de error, lo que hace que la precisión general sea inaceptable. Por lo tanto, se debe realizar un modelo de cuatro componentes siguiendo los protocolos estandarizados para métodos de laboratorio de densitometría (para volumen corporal), absorciometría de rayos X de energía dual (para mineral óseo) y agua marcada con tritio o deuterio. Esto asegurará las tasas de error más bajas para la estimación general de la grasa corporal (13).

Absorciometría Dual de Rayos X (DEXA)

Durante más de dos décadas, DXA ha sido el método de diagnóstico de elección para la osteoporosis y se ha utilizado cada vez más en la cuantificación de tejidos blandos. Lo logra pasando haces de rayos X filtrados a dos energías de fotones diferentes a través del participante que son atenuadas diferencialmente por el material en su camino. Con el participante acostado sobre la mesa de escaneo, el proceso mapea la masa y composición de cada píxel en términos de mineral óseo, grasa y tejido blando libre de grasa. La masa grasa está determinada por la relación de atenuación del tejido blando en las dos energías, y la composición elemental in vivo respalda el concepto físico subyacente de que esto es exacto (3).



Figura 4. Absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA)

A pesar de emitir una baja dosis de radiación (que varía según el tipo de escáner y la configuración del haz y, en consecuencia, requiere una prueba de embarazo en mujeres en edad fértil), este método se considera un método de referencia de laboratorio y contribuye a la evaluación de minerales óseos para modelos multi componentes. La utilidad de la DXA y la proliferación generalizada en la práctica actual se ha basado en la conveniencia de adquirir datos de composición regional sin recurrir a las técnicas de imágenes médicas más costosas y escasas (3). Según los coeficientes de correlación reportados por Sheean et, al., entre los estudios y el uso de diferentes dispositivos, DXA parece ser un método razonablemente válido para evaluar la masa grasa regional y total en un amplio grupo de pacientes clínicos de adultos. Y en el mismo, se recomienda el uso de DXA para evaluar la masa grasa en pacientes con condiciones clínicas. Ningún estudio exploró la validez de la DXA para la evaluación de la masa magra en ninguna población clínica; por lo tanto, se desconoce su uso para este compartimento (14).

Prueba índice

Antropometría

La cineantropometría fue presentada por primera vez como una técnica que emerge o nace, en el Congreso Internacional de Ciencias de la Actividad Física, realizado en Montreal, en 1976. Este vocablo proviene de la lengua griega, donde «Kines» significa movimiento, «anthropo» genéricamente identifica al hombre y «metry» es traducido como medida (15).

En este congreso, William Ross desarrolló el concepto de Cineantropometría como la utilización de la medida, en el estudio del tamaño, forma, proporcionalidad, composición y maduración del cuerpo humano, con el objetivo de un mejor conocimiento del comportamiento humano en relación con el crecimiento, la actividad física y el estado nutricional (15). La antropometría consiste en una serie de mediciones técnicas sistematizadas que expresan, cuantitativamente, las dimensiones del cuerpo humano. El tamaño del cuerpo y las proporciones, el físico y la composición corporal son factores importantes en el desempeño y la aptitud física.

Por mucho tiempo se ha usado a la antropometría para la identificación del sobrepeso y la obesidad, y para el establecimiento de la relación entre el sobrepeso y la aptitud física relacionada con la salud, y con la expectativa de vida. Por lo tanto, la antropometría es fundamental en lo que se refiera a la actividad física y las Ciencias Deportivas (15). La antropometría involucra el uso de marcas corporales de referencia, cuidadosamente definidas, el posicionamiento específico de los sujetos para estas mediciones y el uso de instrumentos apropiados (Figura 5).

Las mediciones que pueden ser tomadas sobre un individuo, son casi ilimitadas en cantidad (16). Este hecho originó posibles confusiones y una de las consecuencias de las múltiples tradiciones antropométricas ha sido la falta de normalización en la identificación de los puntos y técnicas de medición, lo cual ha dificultado la comparación de las mediciones tomadas en diferentes momentos y lugares (17).

Debido a estas desventajas, surgió la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (International Society for the Advancement of Kinanthropometry [ISAK]), que evolucionó a partir de su precursor, el Grupo de Trabajo Internacional en Cineantropometría (International Working Group on Kinanthropometry- [IWGK]), y que está compuesta por miembros de más de 80 países y están trabajando desde 1986 en el desarrollo de normas antropométricas que permitan contribuir a la estandarización global de la antropometría (17).



*Figura 5. Medición del pliegue de la cresta iliaca.
Tomado del protocolo Internacional para la Valoración Antropométrica.*

El método antropométrico es engañosamente sencillo. Uno de los fundamentos básicos de la antropometría es la calidad de la medida antropométrica, para ello tenemos que minimizar el error en la medida, lo que exige calibrar el material antropométrico y tener una buena técnica de medición. Los cuatro puntos que hacen referencia al error en la medida son:

- **Precisión.** Se refiere a la consistencia de la medida realizada por un mismo observador. Una baja variabilidad de la medida corresponde a una alta precisión. La precisión se calcula mediante el Error Técnico de Medición (ETM) o error intra-observador.
- **Confiabilidad.** Es el coeficiente de correlación entre series sucesivas de medidas tomadas en el mismo sujeto. Se calcula con el Cociente de Correlación Intraclass (CCI).

- *Exactitud.* Indica el grado de coincidencia de la medida observada, con la "verdadera" o realizada por un experto o evaluador criterio (antropometrista que no comete errores sistemáticos, Nivel 3 o Nivel 4). Se calcula mediante el ETM o error inter-observador.
- *Validez.* Es el grado en que una medición realmente mide una característica.

El ETM es el tratamiento estadístico correcto para valorar la calidad de la medición en series repetidas de diferentes medidas antropométricas realizadas por uno o varios antropometristas. Es definido como el desvío estándar de las mediciones (raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado, dividido por el doble de los pares estudiados). El ETM debe comprobarse periódicamente y mantenerse dentro de los rangos recomendados: de 5% a 7.5% para pliegues cutáneos y de 1% a 1.5% para el resto de las medidas antropométricas. El objetivo del antropometrista debe ser alcanzar altos grados de precisión, confiabilidad y exactitud, utilizando la técnica válida de medición. El ETM tiene que ser incluido en la valoración e interpretación de los resultados antropométricos y debería reflejarse en las publicaciones, al igual que el nivel de acreditación de los antropometristas (18).

Una vez realizadas las mediciones, el antropometrista puede emplear una serie de herramientas utilizando varias ecuaciones para el análisis de los datos obtenidos. Estos incluyen el somatotipo, el fraccionamiento de las masas corporales en componentes de masa ósea, muscular, adiposa y residual, proporcionalidad predicción de la densidad corporal (y posteriormente del porcentaje de grasa corporal) utilizando una serie de ecuaciones de regresión. Además, la transformación de los datos puede producirse en categorías de percentiles específicas por edad y por sexo para medidas individuales, obesidad general y proporcional de las masas, así como otros índices tales como el de cintura/cadera, la sumatoria de pliegues y los perímetros corregidos (17).

La gran mayoría de nutriólogos trabaja en situaciones diferentes a las de un laboratorio científico. El trabajo de campo o consultorio somete a estos profesionales a seleccionar herramientas de trabajo que se adapten a sus circunstancias, como costos, espacio físico y capacidad de traslado, como se muestra en la Figura 6. En este sentido, es evidente que la antropometría provee la técnica y herramientas más adecuadas para las necesidades de los nutriólogos (19).

Desde luego que toda ventaja tiene su contrapartida y, en el caso de la antropometría, se sacrifica precisión y exactitud (en comparación con técnicas de diagnóstico de imágenes como la RMN) por accesibilidad en el costo y capacidad de traslado. El problema de la pérdida de precisión y exactitud se puede compensar con una estricta adherencia a un protocolo de técnica de medición, asegurada por una instrucción y práctica adecuadas, el cálculo del error técnico de medición (Ulijaszek y Kerr, 1999) y la buena calibración de los instrumentos de medición (19).



Figura 6. Aplicación de la antropometría en campo

Tras establecer que la antropometría es la herramienta adecuada para usar en nutrición deportiva, es necesario entender un poco más su uso. La antropometría no es sólo una medición de peso (en términos técnicos, masa corporal) y la estatura (también conocida como talla), sino que también abarca cuatro aspectos generales, que proporcionan indicios del estado de los tejidos: Pliegues cutáneos como indicador de la grasa corporal subcutánea; perímetros como indicador de la masa muscular y grasa abdominal; diámetros como indicador de la estructura ósea y longitudes como indicador de la estructura ósea (19).

Validez de criterio concurrente

La validez de criterio se refiere al grado en que las puntuaciones de un instrumento en particular se relacionan con un patrón oro, otorgando una calificación positiva para la validez de criterio si se presentan argumentos convincentes de que el estándar utilizado realmente es "oro" y si la correlación con el patrón oro es al menos 0,70 (20).

En otras palabras, se establece examinando la correlación entre el índice nuevo y una prueba de referencia (*gold standard*). La idea es que, si ambos instrumentos están midiendo el mismo rasgo, sus resultados cuando se aplican a los mismos sujetos deben estar correlacionados (21).

Básicamente la validez de criterio se puede evaluar de dos formas:

1. Cuando los dos instrumentos de medida se pasan de forma más o menos simultánea (p. ej., cuando se crea un nuevo instrumento de medida) se dice que se está evaluando la validez concurrente.
2. Otras veces, el patrón de referencia no está disponible inmediatamente, por ejemplo, cuando el criterio se basa en la evolución a largo plazo (comprobación por autopsia). En este caso, se dice que se está evaluando la validez predictiva.

En el caso de la evaluación de las pruebas diagnósticas, la validez de criterio se examina de forma peculiar, separando dos parámetros diferentes: la sensibilidad (proporción de casos que dan positivo a la prueba) y la especificidad (proporción de no casos que dan negativo a la prueba- test) (21).

1.2 Antecedentes

Existen trabajos de revisión sistemática de la literatura que se enfocan en comparar el método antropométrico contra métodos de referencia en la evaluación de la composición corporal, y para poder localizarlos, se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura con la finalidad de dar sustento y probar la factibilidad de la pregunta de investigación planteada. La búsqueda se realizó considerando los siguientes elementos de la pregunta de investigación con el acrónimo PECOS (pacientes, exposición, comparador, desenlace (outcome) y estudio), mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Elementos de la pregunta de investigación

Elementos	Características
P	Atletas de alto rendimiento de diferentes disciplinas deportivas
E	Ecuaciones antropométricas para estimar la masa grasa
C	Métodos de referencia: DXA y Modelos de 4-Componentes
O	Valores de correlación (R), Coeficientes de determinación (R ²), R ² ajustado, Error total (ET), error estándar de estimación (EEE) y coeficiente de correlación intraclase.
S	Revisiones sistemáticas (RS)

DXA: Absorciometría de rayos X de energía dual; **CCI:** Coeficiente de correlación intraclase

Esta búsqueda se llevó a cabo en las principales bibliotecas electrónicas, PubMed, Cochrane Library, Epistemonikos y Tripdatabase, en las cuales se utilizaron y adaptaron los siguientes términos: “Body composition in athletes”, “Body composition assessment in athletes”, “Validity of anthropometric equations”, “Body composition assessment in sport” y “Anthropometric measurements in sport”. (Anexo, Tabla 9).

El resultado de esta búsqueda identificó 12,869 revisiones sistemáticas, de las cuales se excluyeron 12,819 por título no relacionado, eliminando posteriormente 33 por estar duplicadas y 12 por resumen no relacionado, incluyendo finalmente 5 revisiones sistemáticas en el protocolo de factibilidad (Anexo, Figura 12), las cuales, se

enfocan en hacer una evaluación comparativa de los métodos para estimar la composición corporal con respecto a un estándar de referencia.

En conjunto, estas cinco revisiones sistemáticas fueron publicadas entre los años 2013 y 2019, evaluando a niños, adolescentes y adultos de hasta 94 años de distintas etnias. La mayoría de las revisiones consideraron los modelos antropométricos, la bioimpedancia eléctrica, la conductividad eléctrica corporal total (TOBEC) y la dilución isotópica como prueba índice, y utilizaron como método de referencia los modelos de 3 y 4 componentes, DXA e imagen por resonancia magnética (IRM). Las características generales de las cinco revisiones sistemáticas se muestran en la tabla 3.

Silva D. y colaboradores en 2013 (45), tuvieron como objetivo analizar la validez de diversos métodos para evaluar la grasa corporal en niños y adolescentes, utilizando como método de referencia el modelo de 4-Componentes. Mientras que Silva AM. y colaboradores (26) en el mismo año revisaron todas las ecuaciones disponibles en población pediátrica publicadas entre 1985 y 2012 y basadas en bioimpedancia eléctrica y antropometría, utilizando como método de criterio los modelos de 3 y 4 componentes.

El primer estudio concluye que, los métodos de pletismografía por desplazamiento de aire y dilución isotópica fueron los más fiables, así también, reportó a la ecuación de Slaughter et al. 1998 como la que mejores resultados generó en esta población.

En el segundo estudio se concluye que a pesar de que las 33 ecuaciones que fueron seleccionadas son útiles para estudios epidemiológicos, surgen algunas preocupaciones de forma individual.

Por otra parte, la revisión de Al-Gindan y colaboradores (47), publicada en 2014, tiene como objetivo identificar y evaluar métodos simples como la antropometría para cuantificar la masa muscular en adultos, utilizando como método de referencia la imagen por resonancia magnética. En esta revisión se menciona que no todos los estudios informaron el error estándar de estimación o porcentaje de error, además de que hubo un amplio rango en las correlaciones (desde muy baja a muy alta), y muy pocos estudios reportaron la concordancia entre los métodos.

Y finalmente, en los estudios de Cerqueira (48) y Fedewa (49) evaluaron adultos con un amplio rango de edades. En el primero, tuvieron como objetivo verificar la validez de la bioimpedancia eléctrica en la predicción del porcentaje de masa grasa en comparación con DXA, mostrando evidencia de que el primer método no presenta resultados satisfactorios en la determinación del porcentaje de masa grasa en dicha población. Mientras que en el segundo estudio se buscaron examinar las posibles diferencias raciales en la precisión de las fórmulas antropométricas de Brozek y Siri, lo cual nos sirvió para observar la comparación entre dichas ecuaciones y el modelo de 4 componentes.

Tabla 3. Evidencia previa del tema en revisiones sistemáticas.

Autor y año	Título	Población	Prueba índice	Método de referencia	Limitaciones metodológicas
Silva D. et, al. 2013 (45)	Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review	Niños y adolescentes	DXA, dilución isotópica, pliegues cutáneos, hidrodensitometría, BIA, pletismografía y TOBEC.	Modelo de 4-componentes	La estrategia de búsqueda se limita al idioma inglés y portugués
Silva AM et al., 2013 (46)	A PRISMA-driven systematic review of predictive equations for assessing fat and fat-free mass in healthy children and adolescents using multicomponent molecular models as the reference method	Niños y adolescentes (3-18 años)	Ecuaciones antropométricas e impedancia bioeléctrica.	Modelos multicomponentes (4-C y 3-C)	No reporta haber evaluado la calidad de la evidencia
Al-Gindan et al., 2014 (47)	Predicting muscle mass from anthropometry using magnetic resonance imaging as reference: a systematic review	Adultos > 18 años	Ecuaciones antropométricas	Imagen por Resonancia Magnética	No reporta búsqueda en la literatura gris
Cerqueira et al., 2018 (48)	Validity of the Body Adiposity Index in Predicting Body Fat in Adults: A Systematic Review	Adultos (18- 83 años) de diferentes etnias	Índice de adiposidad corporal	DXA	No reporta búsqueda en la literatura gris
Fedewa et al., 2019 (49)	Examining Race-Related Error in Two-Compartment Models of Body Composition Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis	Adultos (18- 94 años)	Ecuaciones antropométricas	Modelo de 4-componentes	La estrategia de búsqueda se limita al idioma inglés

DXA: Absorciometría de rayos X de energía dual; **TOBEC:** conductividad eléctrica corporal total; **BIA:** Bioimpedancia eléctrica; **3-C:** 3 Componentes; **4-C:** 4 Componentes

1.3 Planteamiento del problema

Los atletas de alto rendimiento están sometidos a cambios constantes en su composición corporal, por lo que la antropometría, por su accesibilidad, es el método que mejor permite medir esos cambios y llevar un adecuado monitoreo en esta población. Por otra parte, las Revisiones sistemáticas de composición corporal hechas hasta el momento, reportan las características que han sido evaluadas correctamente, sin embargo, no especifican las ecuaciones predictivas utilizadas, ni la capacidad diagnóstica de cada una de ellas.

Por tanto, existe la necesidad de realizar un protocolo de Revisión sistemática de la literatura que muestre cuales son todas las ecuaciones de predicción de masa grasa y masa muscular que han sido desarrolladas hasta el momento en deportistas y atletas de alto rendimiento, que muestren la capacidad diagnóstica y, además indiquen la calidad metodológica con la que han sido validadas. Lo anterior cimentaría las bases para poder establecer la capacidad diagnóstica de las mismas o proponer una posible ecuación de predicción adaptada a esta población.

1.4 ¿Por qué hacer esta revisión?

No existe un consenso estandarizado sobre el método apropiado para la evaluación de la composición corporal de atletas mexicanos de alto rendimiento. Consecuentemente no hay estándares de referencia nacionales sobre la composición corporal del deportista mexicano de alto rendimiento, con los cuales los médicos, entrenadores, nutriólogos y cuerpo técnico puedan basarse para establecer objetivos claros de la planificación deportiva, planificación nutricional, evaluar cambios morfológicos por fase de entrenamiento, así como establecer un adecuado diagnóstico y seguimiento del atleta con un enfoque multidisciplinario.

Un primer paso para la generación de esta información tan indispensable en el manejo integral del deportista es conocer cuáles ecuaciones antropométricas tienen mayor capacidad de predicción de la composición corporal en esta población. Por lo tanto, la realización de este protocolo de revisión sistemática representa un gran beneficio para los especialistas del deporte dado que se enfoca en la búsqueda de la mejor evidencia disponible para poder diagnosticar su composición corporal.

El desarrollo de protocolos de revisión sistemática de la literatura es imprescindible por la colaboración de expertos metodólogos, así como expertos en la materia. Cabe destacar que he apoyado el trabajo del área nutricional en la Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte (CONADE).

En cuanto a la infraestructura para la realización de este protocolo, me encuentro en colaboración con la Unidad de Epidemiología clínica del Hospital Infantil de México Federico Gómez en el área de Práctica en Salud Basada en

la Evidencia, aunado al apoyo institucional e infraestructura de la Dirección Médica de la CONADE para la realización de este estudio.



Figura 7. Aspectos considerados para hacer esta revisión

1.5 Pregunta de revisión sistemática

¿Cuál es la validez de la predicción de las ecuaciones antropométricas para estimar la masa grasa en atletas adultos de alto rendimiento, en comparación con los métodos de referencia?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo principal

Determinar la validez de criterio concurrente de las ecuaciones antropométricas para estimar la masa grasa en comparación a los métodos de referencia en atletas adultos de alto rendimiento; a través de la búsqueda de valores de CCI y de Bland y Altman.

1.6.2 Objetivos específicos

- Describir las variables que conforman a cada ecuación antropométrica.

- Identificar las características demográficas de los participantes de cada estudio.
- Reportar los coeficientes de correlación de las ecuaciones en comparación a los valores obtenidos con el estándar de referencia.

1.7 Métodos

1.7.1 Criterios de selección de estudios para esta revisión

Tipos de estudios

En esta revisión sistemática fueron incluidos estudios de validación de ecuaciones antropométricas que estimaran el componente de masa grasa, comparándolo contra un método de referencia previamente validado.

Tipo de participantes

La población de interés fueron atletas de alto rendimiento mayores de 18 años, con experiencia en cualquier disciplina de deporte convencional, de cualquier raza o país.

Tipo de exposición

Los estudios que se incluyeron miden la cantidad de masa grasa de los atletas de alto rendimiento por medio de ecuaciones antropométricas, así como por métodos de referencia previamente validados.

Tipo de medidas de desenlace

Los desenlaces de interés en este trabajo son los valores que expresan el rendimiento de los modelos antropométricos, tales como: coeficiente de correlación intraclase, valor de R (correlación), coeficiente de determinación (R^2), R^2 ajustado, error de medición y gráficos de Bland y Altman.

1.7.2 Métodos de búsqueda para la identificación de estudios

La búsqueda de la literatura blanca se llevó a cabo en las siguientes bibliotecas electrónicas: Medline (PubMed), TripDatabase, Cochrane Library y LILACS. Se desarrolló una estrategia de búsqueda específica para estudios de validación que incluyó términos de acuerdo con la población y variables de interés (Anexo). Se realizó una adaptación de los términos según las bibliotecas electrónicas que se consultaron. La búsqueda de los artículos primarios se realizó sin restringir el idioma ni la fecha de publicación y fueron considerados aquellos estudios existentes hasta la fecha de búsqueda (junio de 2020). Este proceso de búsqueda fue replicado por otro investigador previo a la realización del análisis final.

1.7.3 Selección de los estudios

A través de la estrategia de búsqueda que se llevó a cabo por medio de las bibliotecas electrónicas mencionadas en el apartado anterior, se realizó de forma inicial una lectura de todos los títulos de los artículos que resultaron de la búsqueda.

Aquellos títulos que estuvieron relacionados con los criterios de inclusión fueron incorporados a una base de datos en Excel. Posteriormente, se hizo una limpieza de la base de datos y se excluyeron los títulos duplicados.

De este modo, se realizó una lectura de los resúmenes de los estudios y fueron excluidos los que no estuvieron relacionados con los criterios de inclusión, para finalmente, realizar una lectura de texto completo de los estudios potencialmente útiles para esta revisión sistemática, excluyendo nuevamente a todos aquellos que no estuvieron relacionados con los métodos o la población de interés.

El proceso de selección de los estudios se realizó de manera cegada e independiente por dos investigadores [PMCM], y cuando hubo diferencias se llegó a consenso con un tercero [LMS].

1.7.4 Extracción y manejo de datos

La extracción de datos se realizó de forma independiente por un primer revisor [PMCM] y replicado por un segundo [SVEG]. Este proceso se llevó a cabo por medio de un formato diseñado en Excel (Microsoft 365, versión 18.2104.12721.0), en el cual, se extrajo la siguiente información de cada estudio: autor, año de publicación, país, características de la población (sexo, edad, etnia, disciplina deportiva), prueba índice, estándar de referencia y los valores de estadísticos del rendimiento de los modelos reportados (coeficiente de correlación intraclass, valor de R (correlación), coeficiente de determinación (R^2), R^2 ajustado, error de medición y/o gráficos de Bland y Altman), según los datos reportados.

Además, se tomaron en cuenta las variables al interior de la prueba índice, es decir, las variables que conformaron las ecuaciones antropométricas, desglosando específicamente los pliegues cutáneos considerados en las fórmulas.

1.7.5 Riesgo de sesgo y calidad metodológica

Se realizó la evaluación de riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos utilizando la herramienta de Evaluación de la calidad de los estudios de precisión diagnóstica (QUADAS-2) (22), por sus siglas en inglés, incluida en el software Review Manager, versión 5.4.

Esta herramienta se completa en cuatro fases: 1) Revisión de la pregunta, 2) Adaptación del QUADAS-2 a una revisión sistemática, 3) Revisión del diagrama de flujo y 4) Valoración de los sesgos y la aplicabilidad.

La valoración de los sesgos y la aplicabilidad evalúa a su vez cuatro dominios: a) Selección de los pacientes, b) Prueba Índice, c) Prueba de referencia y d) Flujos y tiempo a través del estudio.

La primera parte de cada dominio denominada *probabilidad de sesgo* consiste precisamente en evaluar el riesgo de sesgo y se divide en tres secciones: 1) información utilizada para apoyar la evaluación del riesgo de sesgo, 2) preguntas orientadoras y 3) el juicio sobre el riesgo de sesgo. La información extraída de cada estudio es de suma importancia para dar sustento a la toma de la decisión final y facilitar la discusión entre los evaluadores independientes. Por su parte, las preguntas orientadoras permiten identificar los aspectos críticos en cada estudio y están formuladas para responderse como “sí”, “no” o “incierto”, de este modo, la respuesta “sí” indica que existe un bajo riesgo de sesgo. El juicio sobre el riesgo de sesgo puede referirse como “bajo”, “alto” o “incierto”, haciendo uso de las guías elaboradas en la fase dos; de tal forma que, si todas las preguntas orientadoras de un dominio son “sí”, la probabilidad de sesgo puede ser juzgada como “baja”. Por el contrario, si alguna pregunta orientadora es contestada como “no”, existe la probabilidad de sesgo y se calificaría como “alto”. Finalmente, cuando no existe información suficiente para otorgar un juicio, se califica como “incierto”.

La segunda parte de cada dominio toma en cuenta la aplicabilidad. Esta sección es similar a la de sesgo, pero no establece preguntas orientadoras. Los revisores registran la información soporte del juicio de aplicabilidad y evalúan luego su preocupación acerca de que el objetivo del estudio no coincida con la pregunta de la revisión. Las cuestiones acerca de la aplicabilidad son calificadas como preocupación "baja", "alta" o "incierta". Una vez más, la categoría de "incierta" se debe utilizar únicamente cuando se presentan datos insuficientes (23).

1.7.6 Análisis estadístico y síntesis de datos

La síntesis de los datos se hizo de acuerdo con el diseño de los estudios incluidos, la disciplina deportiva de los atletas, la etnia, el sexo, el tipo variables contenidas en la prueba índice, el método de referencia empleado y el tipo de prueba estadística reportado en cada estudio para la evaluación de la validez de las ecuaciones antropométricas: coeficiente de correlación intraclase, valor de R (correlación), coeficiente de determinación (R^2), R^2 ajustado, error de medición y/o gráficos de Bland y Altman.

Debido al tipo de variables utilizadas en las ecuaciones antropométricas y a los métodos de referencia existentes, fue esperada una alta heterogeneidad en los datos obtenidos, por tal razón, se realizó un análisis de subgrupos según el tipo de método de referencia empleado y el tipo de valores reportados en cada estudio.

1.7.7 Interpretación de resultados y conclusiones

La interpretación de los resultados, la cual corresponde al paso número 10 de la figura 8, (24), se realizó tomando en cuenta las características metodológicas de los subgrupos, con la finalidad de poder comparar de la mejor manera los resultados de validez de las ecuaciones antropométricas con respecto a su estándar de referencia, así como las características de la población estudiada en cada artículo incluido.

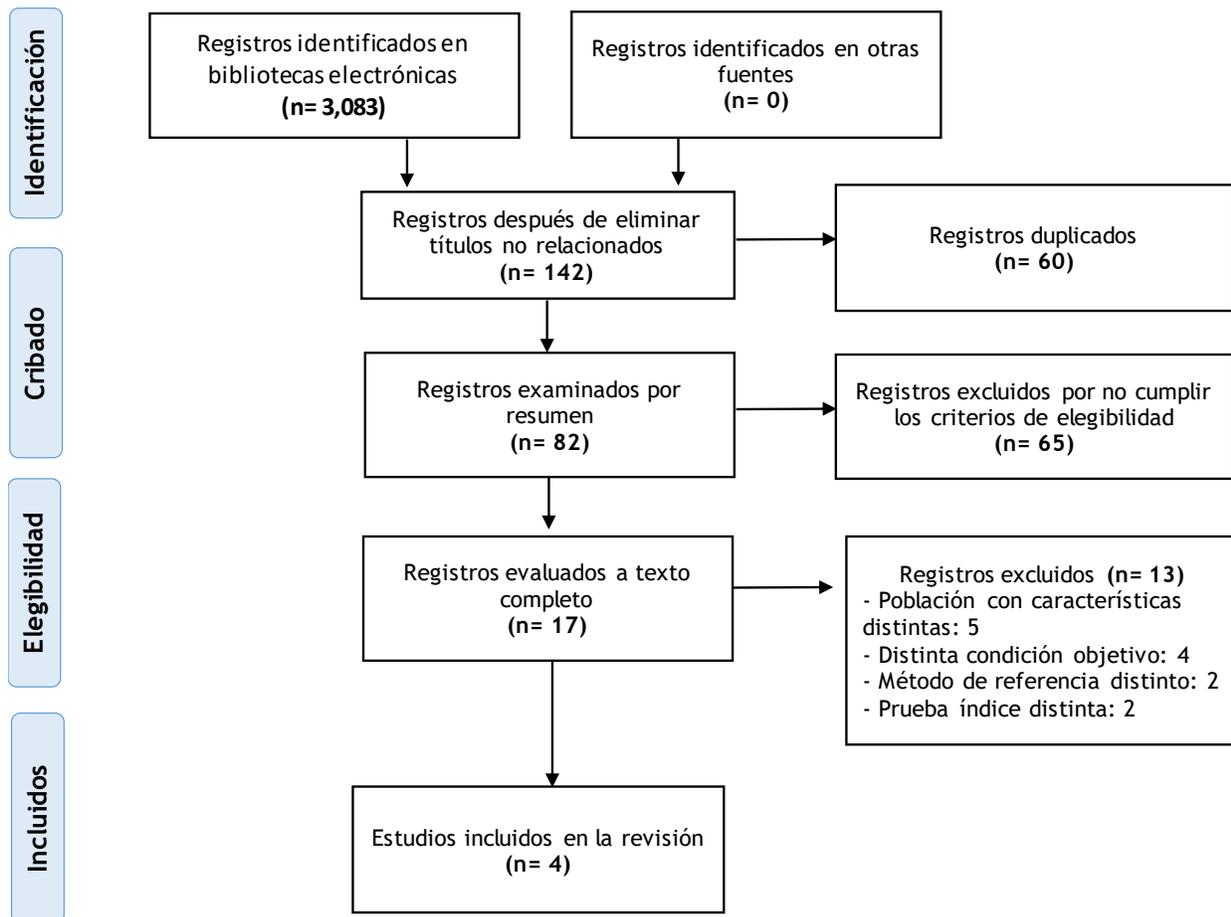


Figura 8. Nuevo ecosistema de las revisiones Cochrane

1.8 Resultados

Se identificó un total de 3,083 artículos que resultaron de la búsqueda en las bibliotecas electrónicas mencionadas anteriormente. Después de realizar la lectura por título se eliminaron 2,941 estudios por no relacionarse con los criterios de elegibilidad, por lo que, hubo 142 títulos relacionados de los cuales 60 se eliminaron por duplicado. De este modo, se realizó una lectura por resumen de 82 registros, de los que únicamente 17 fueron revisados a texto completo y, se eliminaron 13 debido a que 4 evaluaban un constructo distinto al de la masa grasa, en otros 5 estudios las características de la población eran diferentes a las de interés, 2 utilizaron métodos de referencia diferentes a DEXA o modelos multi componentes y finalmente, 2 utilizaron como prueba índice métodos distintos a las ecuaciones antropométricas. Por lo tanto, fueron 4 los estudios que se incluyeron en esta revisión sistemática. El diagrama del proceso de selección se realizó en base a lo establecido en lo establecido por PRISMA (50). (Figura 9).

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios incluidos.



Estudios incluidos

En la tabla 4 se presentan descritas tanto las características metodológicas como las generales de los estudios incluidos; en los cuales, se observa que la mayoría fueron realizados en Estados Unidos y Reino Unido, y publicados entre 2005 y 2014. Únicamente uno de ellos generó y validó una ecuación antropométrica, mientras que los demás están basados en ecuaciones antropométricas existentes, teniendo como objetivo su validación a través de un método de referencia.

En los 4 estudios incluidos se obtuvo un total de 231 participantes, de los cuales, la mayoría fueron hombres, con una media de edad de 20 años, siendo la raza blanca, negra y caucásica la reportada en 2 de los estudios. Las disciplinas deportivas practicadas por los sujetos fueron fútbol, fútbol gaélico, hurling, béisbol, voleibol, softbol, atletismo, basquetbol, gimnasia y natación, encontrándose en diferentes etapas de la preparación deportiva durante su participación en el estudio.

En total, se analizaron 11 ecuaciones antropométricas que fueron comparadas contra los valores de DXA o bien, el Modelo de 4- Componentes, ambos considerados como estándar de referencia, con el objetivo principal de determinar la validez de cada una de las ecuaciones.

Tabla 4. Características de los estudios incluidos.

Autor y año	País	Muestra	Sexo	Edad	Etnia	Disciplina deportiva	Objetivo
Evans et, al. 2005 (28)	USA	n= 132	M= 54 H= 78	20.8 ± 2.3	Af= 38 C= 94	Fútbol, basquetbol, voleibol, gimnasia, natación y atletismo	Desarrollar y validar de forma cruzada una ecuación de predicción de % de grasa corporal basada en pliegues cutáneos, utilizando como método de referencia el modelo de 4 componentes.
Moon et, al. 2009 (29)	USA	n= 29	M= 29	20 ± 1	NR	Voleibol, softbol, atletismo	Determinar la validez de las ecuaciones antropométricas y compararlas contra ecuaciones validadas para estimar el % de grasa en atletas femeninas.
Doran et, al. 2014 (30)	Reino Unido	n= 35	H=35	20.9 ± 1.7	C	Fútbol gaélico y Hurling	Comparar la precisión del % de masa grasa de las ecuaciones de pliegues cutáneos en relación con DXA.
Loenneke et, al. 2014 (31)	USA	n= 35	H= 35	20 ± 1	NR	Béisbol	Determinar la validez de los métodos de análisis de impedancia bioeléctrica y pliegues cutáneos en comparación con DXA para estimar el % de grasa corporal en jugadores de béisbol.

M: mujeres; **H:** hombres; **Af:** Afrodescendientes; **C:** caucásicos; **NR:** No reportado; **DXA:** Absorciometría de rayos X de energía dual

En la tabla 5 presentada a continuación, se enlistan las condiciones objetivo de cada estudio, las cuales, en su mayoría se refieren a la grasa corporal, excepto en la ecuación de Forneti del estudio de Moon et, al. 2009 (29) que evalúa la masa libre de grasa, para posteriormente ser convertida a masa grasa.

También se muestra la prueba índice, la cual corresponde a todos los modelos antropométricos que fueron evaluados en cada estudio, observando que en el estudio de Doran 2014 (30) fueron evaluadas 6 fórmulas, en Moon 2009 (29) se evaluaron 4, en Loenneke 2014 (31) se consideraron 2 y en Evans 2005 (28) se desarrolló y validó 1 ecuación que lleva el mismo nombre. Y finalmente, se observa la prueba de referencia contra la cual se comparó cada valor de masa grasa resultante de las ecuaciones antropométricas.

Tabla 5. Ecuaciones antropométricas y pruebas de referencia reportadas en los estudios.

Autor y año	Condición objetivo	Prueba índice	Prueba de referencia
Evans et, al. 2005 (28)	Grasa corporal	Evans et al. (E3) %BF= 8.997 + 0.24658 *(3SKf) - 6.343* (género) - 1.998 * (raza)	Modelo de 4- Componentes
Moon et, al. 2009 (29)	Grasa corporal	Evans et al. (E3) %Grasa = 8.997 + 0.24658 (3SKF) - 6.343 (género) - 1.998 (raza)	Modelo de 4- Componentes
	Grasa corporal	Evans et al. (E7) %fat = 10.566 + 0.12077 (SUM 7) - 8.057 (Sex) - 2.545 (Race)	
	Masa libre de grasa	Forneti et al. (FHW) FFM (kg) = 0.143 (height in cm) + 0.565 (body weight in kg) - 10.03	
Doran et, al. 2014 (30)	Grasa corporal	Brozek (%Fat) = [(4.57/DC) - 4.142] x 100	DXA Hologic
	Grasa corporal	D&W -∑4AT % (1974)	
		Lohman (1981)	
		Withers et al. (1998)	
		Eston et al. (2005) - ∑2SKf	
Eston et al. (2005) - ∑6SKf			
Reilly et al. (2009)			
Loenneke et, al. 2014 (31)	Grasa corporal	Siri= [(4.95/DC) - 4.50] x 100 Brozek (%Fat) = [(4.57/DC) - 4.142] x 100	DXA Lunar

%BF: % Grasa corporal; **3SKF:** sumatoria de 3 pliegues cutáneos (tricipital, abdominal y muslo); **SUM7:** sumatoria de 7 pliegues cutáneos (pectoral, axilar, tricipital, abdominal, supraíliaco, subescapular y pantorrilla); **FHW:** Forneti Height and weight (ecuación de Forneti basada en talla y peso); **FFM:** Masa libre de grasa; **DC:** Densidad corporal; **D&W:** Durnin and Wormersley; **∑4AT:** Sumatoria de 4 pliegues cutáneos (subescapular, tricipital, bicipital y supraespal); **∑2SKf:** Sumatoria de 2 pliegues cutáneos (muslo y pantorrilla); **∑6SKf:** Sumatoria de 6 pliegues cutáneos (bicipital, tricipital, subescapular, cresta iliaca, pierna y pantorrilla).

En la tabla 6 se resumen las principales variables que conforman a cada modelo antropométrico. Como puede observarse, sólo Evans et al. (E3) (28) y Evans et al. (E7) (29) consideran la edad y la etnia; ninguna toma en cuenta la edad ni el nivel deportivo, y los pliegues cutáneos mayormente utilizados fueron el de muslo, abdominal y tricipital, sin embargo, también fueron utilizados los pliegues subescapular, bicipital, pectoral, supraespinal, suprailíaco, pantorrilla y axilar.

Tabla 6. Ecuaciones antropométricas y variables

Autor y año	Ecuación antropométrica	Variables				Pliegues cutáneos									
		Sexo	Edad	Etnia	Nivel deportivo	SE	T	Bi	Pe	SPE	SPI	Ab	Mu	Pa	Ax
Evans et al. 2005 (28)	Evans et al. (E3)	✓	NA	✓	NA		✓					✓	✓		
Moon et al. 2009 (29)	Evans et al. (E3)	✓	NA	✓	NA		✓					✓	✓		
	Evans et al. (E7)	✓	NA	✓	NA	✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓
	Forneti et al. (FHW)	NA	NA	NA	NA										
	Brozek	NA	NA	NA	NA				✓			✓	✓		
Doran et al. 2014 (30)	D&W (1974)	NA	NA	NA	NA	✓	✓	✓		✓					
	Lohman (1981)	NA	NA	NA	NA										
	Withers et al. (1998)	NA	NA	NA	NA	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
	Eston et al. (2005) – $\sum 2SKf$	NA	NA	NA	NA								✓	✓	
	Eston et al. (2005) – $\sum 6SKf$	NA	NA	NA	NA	✓	✓	✓			✓		✓	✓	
	Reilly et al. (2009)	NA	NA	NA	NA										
Loenneke et al. 2014 (31)	Siri	NA	NA	NA	NA				✓			✓	✓		
	Brozek	NA	NA	NA	NA				✓			✓	✓		

NA: No aplica; SE: Subescapular; T: Tricipital; B: Bicipital; Pe: Pectoral; SPE: Supraespinal; SPI: Suprailíaco; AB: Abdominal; M: Muslo; Pa: Pantorrilla; Ax: Axilar

Finalmente, en la tabla 7 se muestra el valor promedio y la desviación estándar del % de masa grasa reportado en cada una de las ecuaciones antropométricas, así como el resultado obtenido mediante el método de referencia.

De este modo, resulta relevante comparar ambos resultados, para así determinar la validez de la ecuación con respecto al del modelo de 4-C o DXA, según sea el caso. Por lo tanto, utilizamos los datos estadísticos a través del valor de R, R², R² ajustado, Error estándar de estimación (EEE) y el error total (ET) como medidas para establecer la correlación existente entre los métodos comparados.

Los resultados resumidos en la tabla 6 muestran valores de R para masa grasa que van de 0.74 a 0.89, con un EEE que varía de 2.20 a 3.8 y valores de ET que van de 2.71 hasta 5.2.

A pesar de que el valor más alto de correlación reportado fue el de la ecuación de Evans et al. (E7) (29), con un valor de R de 0.89, todas las ecuaciones presentan valores altos de correlación con respecto a su estándar de referencia. Por otro lado, los valores de R² y R² ajustado no estuvieron disponibles para ninguno de los estudios incluidos.

Tabla 7. Resumen de ecuaciones antropométricas para estimar la grasa corporal basadas en DXA y un modelo de 4-C

Autor y año	Ecuación	% MG: Media ± DE	R	R ²	R ² ajustado	EEE	ET
Evans et, al. 2005 (28)	Modelo de 4-Componentes	14.6 ± 6.5					
	Evans et al. (E3)	14.6 ± 5.5	0.85	NR	NR	NR	3.66
Moon et, al. 2009 (29)	Modelo de 4-Componentes	24.98 ± 4.63					
	Evans et al. (E3)	26.18 ± 4.06	0.85	NR	NR	2.52	2.71
	Evans et al. (E7)	26.56 ± 4.70	0.89	NR	NR	2.20	2.71
	Forneti et al. (FHW)	23.43 ± 2.67	0.78	NR	NR	2.97	3.38
	Brozek						
Doran et, al. 2014 (30)	DXA	16.6 ± 4.0					
	D&W (1974)	16.7 ± 3.4	0.74 ¥ (0.54–0.86)	NR	NR	2.76	NR
	Lohman (1981)	11.6 ± 2.8	0.79 ¥ (0.62–0.88)	NR	NR	2.54	NR
	Withers et al. (1998)	12.2 ± 3.1	0.79 ¥ (0.62–0.89)	NR	NR	2.52	NR
	Eston et al. (2005) – ∑2SKf	15.4 ± 3.5	0.78 ¥ (0.61–0.88)	NR	NR	2.57	NR
	Eston et al. (2005) – ∑6SKf	14.4 ± 3.5	0.84 ¥ (0.70–0.91)	NR	NR	2.25	NR
	Reilly et al. (2009)	11.7 ± 1.7	0.80 ¥ (0.63–0.89)	NR	NR	2.48	NR
Loenneke et, al. 2014 (31)	DXA	20.4 ± 7.2					
	Siri	16.8 ± 6.1	0.854	NR	NR	3.8	5.1
	Brozek	16.8 ± 5.6	0.854	NR	NR	3.8	5.2

% MG: Porcentaje de masa grasa; R: Valor de correlación; R²: Coeficiente de determinación; EEE: Error Estándar de Estimación; ET: Error Total

Estudios excluidos

Posterior a la evaluación realizada a texto completo, fueron 13 los estudios excluidos debido a que no cumplieron con los criterios de elegibilidad predichos, los cuales se muestran en la tabla 8.

Los motivos de la exclusión se resumen en que cinco estudios (Goel 2007, Sillanpää 2013, Lozano-Berges 2017, Al-Gindan 2017 y Lozano-Berges 2019) (35,36,40,41,42) evaluaban a poblaciones con características distintas a las de interés, cuatro más (Kendall 2016, Delaney 2016, Riyahi-Alam 2017, Nuñez FJ 2019) (37,38,39, 43) no evaluaban precisamente la masa grasa, sino otro componente de la composición corporal; en dos de los estudios (Özçakar 2003, Carey 2000) (33,34) utilizaron como método de referencia herramientas distintas a DXA o a modelos multi componentes y en el caso de otros dos estudios (Gurovich 1995, Nickerson 2019) (32,44) consideraron como prueba índice un método diferente a los modelos antropométricos.

La principal razón de la exclusión se debió, como se menciona en el párrafo anterior, a que la población tenía características diferentes, de este modo, podemos detallar que tres estudios (Goel 2007, Sillanpää 2013, Al-Gindan 2017) (35,36,41) incluyeron a participantes sanos, pero no eran deportistas, mientras que en los estudios de Lozano-Berges 2017 y Lozano-Berges 2019 (40,42) las edades de los sujetos no cumplieron con los criterios de legibilidad establecidos.

Tabla 8. Características generales de los estudios excluidos

Autor y año	País	Condición objetivo	Prueba índice	Prueba de referencia	Razones de exclusión
Gurovich M. et, al. 1995 (32)	Chile	Masa grasa, muscular, ósea, residual y piel	Modelos de 5-C	Densitometría	Prueba índice distinta a la de interés
Özçakar L. et, al. 2003 (33)	Turquía	Grasa corporal	Ecuación de Siri y Zorba	BIA (Tanita)	Utiliza como método de referencia la BIA
Carey D, 2000 (34)	NR	Masa grasa	Ecuaciones antropométricas: Lohman, Katch and McArdle, Tipton and Oppliger, Thorland et al., Durnin and Wommersley, Jackson and Pollock y Sinning	Pesaje hidrostático	Utiliza un método de referencia distinto
Goel K. et, al. 2007 (35)	India	Grasa corporal total, grasa abdominal total, tejido adiposo subcutáneo y tejido	Desarrollo de ecuaciones antropométricas	IRM y DXA	Los participantes eran adultos sanos, pero no atletas

Sillanpää E. et, al. 2013 (36)	Finlandia	Masa grasa y masa magra	Pliegues cutáneos y BIA	DXA	La población es adulta, pero no son atletas
Kendall K. et, al. 2016 (37)	USA	Masa libre de grasa	Pletismografía, ultrasonido, NIR Y ecuaciones de pliegues cutáneos (Jackson y Pollock)	Modelo de 4-C	La condición objetivo es distinta a la de interés
Delaney J. et, al. 2016 (38)	Australia	Masa magra	Índice de masa magra, BIA y ecuación antropométrica basada en pliegues	DXA	La condición objetivo es distinta a la de interés
Riyahi-Alam S. et, al. 2017 (39)	Irán	Densidad corporal	Desarrollo y validación de ecuación basada en pliegues cutáneos	UWW	La condición objetivo es distinta a la de interés
Lozano-Berges G. et, al. 2017 (40)	España	Masa grasa	Ecuaciones antropométricas: Flavel, Durnin-Rahaman-Siri, Durnin-Rahaman-Brozek	DXA	La población incluida tiene un rango de edades <18 años
Al-Gindan Y. et, al. 2017 (41)	Reino Unido	Tejido adiposo y grasa corporal total	Ecuaciones antropométricas	MRI	Los participantes son adultos sanos, pero no atletas
Lozano-Berges G. et, al. 2019 (42)	España	Masa grasa	Ecuaciones antropométricas: Johnston, Slaughter, Carter, Faulkner, Deurenberg and SantiMaria	DXA	Las edades de los atletas no cumplen los criterios de inclusión
Nuñez F. et, al. 2019 (43)	España	MLG	10 ecuaciones antropométricas	DXA	La condición objetivo es distinta a la de interés
Nickerson 2019 (44)	USA	Masa grasa, agua corporal y contenido mineral óseo	Modelo de 3-Componentes	Modelo de 4-Componentes	La prueba índice es un modelo distinto al de interés

BIA: Impedancia bioeléctrica; **NR:** No reportado; **IRM:** Imagen por Resonancia Magnética; **DXA:** Absorciometría de rayos X de energía dual; **UWW:** Underwater weight (pesaje hidrostático); **MLG:** Masa Libre de Grasa; **NIR:** Near Infrared (Infrarrojo cercano)

Riesgo de sesgo de los estudios incluidos

El riesgo de sesgo de los estudios incluidos se evaluó utilizando la herramienta QUADAS-2 (Evaluación de la calidad de los estudios de precisión diagnóstica), por sus siglas en inglés (23).

De este modo, en la figura 10 se presenta un resumen del riesgo de sesgo y las preocupaciones en la aplicabilidad para cada uno de los estudios incluidos, con un semáforo de riesgo de sesgo del Manual Cochrane, en el cual, podemos distinguir fácilmente con los colores verde, amarillo y rojo si el riesgo de presentar sesgo en cada dominio es bajo, incierto o alto, respectivamente.

	<u>Risk of Bias</u>				<u>Applicability Concerns</u>		
	Patient Selection	Index Test	Reference Standard	Flow and Timing	Patient Selection	Index Test	Reference Standard
Doran 2014	⊖	?	+	+	+	+	+
Evans 2005	⊖	?	?	+	+	+	+
Loenneke 2014	⊖	?	+	+	+	+	+
Moon 2009	⊖	?	+	+	+	+	+

⊖ High	? Unclear	+ Low
--------	-----------	-------

Figura 10. Resumen del riesgo de sesgo y precauciones de aplicabilidad en los estudios incluidos

Con respecto a la manera en que se realizó la selección de los participantes en los estudios incluidos, ninguno describió algún método de orden aleatorio o haber enrolado una muestra consecutiva. Por el contrario, en los estudios de Moon 2009 y Loenneke 2014 (39,31) describen que este proceso de selección fue de forma voluntaria, y en los estudios de Evans 2004 y Doran 2014 (28,30) explican que los participantes fueron reclutados en sus respectivos clubes deportivos, universidades y en el condado, por esta razón, el riesgo de sesgo en este aspecto es considerado como alto. Sin embargo, las preocupaciones en la aplicabilidad se consideran bajas, debido a que

se describen adecuadamente las características basales de los participantes de cada estudio y coinciden acertadamente con la pregunta de investigación planteada.

Referente a la prueba índice, cada estudio presenta una descripción detallada acerca de cuáles fueron las mediciones antropométricas realizadas a los participantes y en qué condiciones se llevaron a cabo. Sin embargo, en la mayoría de los estudios no hay información suficiente para saber si dichas mediciones fueron interpretadas sin conocimiento previo de los resultados del método de referencia, a excepción del estudio de Evans 2004, en el cual, menciona que tanto las mediciones de la prueba índice como las del método de referencia fueron realizadas por el mismo investigador. Por estas razones, el riesgo de que exista sesgo en la realización o en interpretación de la prueba índice en los estudios incluidos es considerada como incierta.

En cuanto a la prueba de referencia, alrededor del 75 % de los estudios presentan un bajo riesgo de sesgo, debido principalmente a que describen adecuadamente los métodos de calibración y los protocolos de estandarización a los que se sometieron previo a su realización, además de que, al tratarse de métodos de referencia validados, la probabilidad de que clasifiquen correctamente la cantidad de masa grasa corporal de los participantes es alta. Cabe mencionar, que a pesar de que la información sobre la interpretación de los resultados es poco clara, existe un bajo riesgo de que la prueba de referencia presente sesgo, además de que las preocupaciones sobre la correcta clasificación de la masa grasa son bajas.

En lo que corresponde a la sección de flujos y tiempos, todos los estudios incluidos presentaron un bajo riesgo de sesgo en las secciones evaluadas. Una parte fundamental fue que en los cuatro estudios incluidos se refirió que todos los participantes recibieron la misma prueba de referencia, ninguno reportó exclusiones ni pérdidas, todos los participantes fueron incorporados al análisis y hubo un tiempo apropiado entre la realización de la prueba índice (evaluación antropométrica) y la prueba de referencia (DXA o Modelo de 4-C), realizadas ambas el mismo día y bajo las mismas condiciones.

Así mismo, observamos en la figura 11 un gráfico de barras con el porcentaje acumulativo del riesgo de sesgo y las preocupaciones con respecto a la aplicabilidad de todos los estudios incluidos.

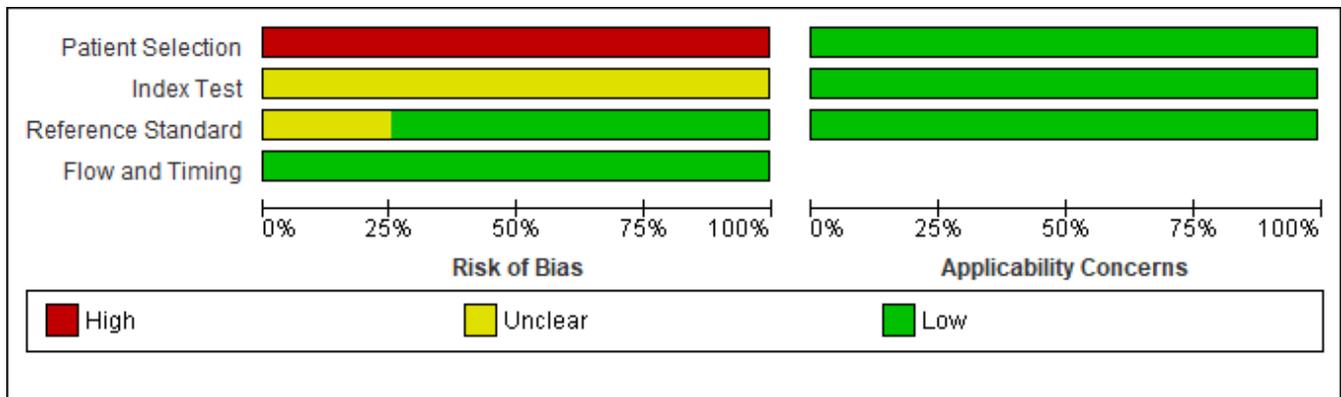


Figura 11. Gráfico de barras acumulativo del riesgo de sesgo y las preocupaciones de aplicabilidad en los estudios incluidos

Heterogeneidad de los estudios incluidos

Debido al tipo de prueba índice que se estudió en esta revisión, era esperado encontrar una alta heterogeneidad entre los estudios incluidos, principalmente por la cantidad y el tipo de variables que pueden contener en su interior los modelos antropométricos, los cuales consideraron variables tales como la edad, sexo, etnia, nivel deportivo y de tres hasta siete pliegues cutáneos; aunado a que cada estudio considera un método de referencia distinto, o bien, un modelo diferente como es el caso de los estudios Doran 2014 y Loenneke 2014 (30,31), los cuales emplearon el DXA Hologic y DXA Lunar, respectivamente, como método de referencia.

De la misma manera, las medidas reportadas para determinar la validez de los modelos antropométricos con respecto a su estándar de referencia fueron heterogéneas, presentando en la mayoría de los modelos valores de correlación, Error Estándar de estimación (EEE) y valores de Error Total (ET) en casi todos los estudios.

1.8 Discusión

La composición corporal es un aspecto clave para la valoración del estado nutricional y rendimiento físico de los atletas, y varía de acuerdo con la edad, el sexo, la raza, los hábitos alimenticios, la disciplina deportiva e incluso con la etapa de entrenamiento, las cuales, son algunas de las variables que se consideran al estimar los componentes principales de la misma (masa grasa y masa muscular), a través de la correlación con algunos valores antropométricos tales como el peso, la estatura, los pliegues cutáneos, los diámetros óseos y las circunferencias corporales, principalmente.

La antropometría es un método considerado como doblemente indirecto, y en cada etapa de su realización es susceptible a errores, los cuales, se pueden contrarrestar con el uso adecuado de la técnica y la validación de las ecuaciones predictivas con el uso correcto de los de los métodos.

En esta revisión sistemática, el objetivo fue resumir la evidencia sobre la validación de las ecuaciones antropométricas utilizando como métodos de referencia el Modelo de 4- Componentes y la Absorciometría de rayos X de energía dual (DXA). Se seleccionaron y analizaron en total 11 ecuaciones antropométricas desarrolladas en población atlética, con un promedio de edad de 20 años.

Sin embargo, es de resaltar las diferencias que existen en los métodos de validación de los componentes de la composición corporal, los cuales pueden variar de acuerdo con el tipo de muestra incluida, las técnicas utilizadas y el análisis estadístico empleado ya que, generalmente, cuando se hace la validación de una nueva prueba (o en este caso, una nueva ecuación), es común prestar mayor atención a la correlación con el estándar de oro, dejando de lado aspectos de suma importancia tales como la evaluación de la consistencia, la cual hace referencia a la reproducibilidad y al mismo tiempo, a la estabilidad de las mediciones. En este contexto, los procedimientos estadísticos más utilizados para este propósito han sido la prueba t de Student y los coeficientes de correlación simple (R) y de determinación (R^2), sin embargo, como lo menciona la revisión de Silva D. 2013 (45), estos métodos no parecen ser suficientes para discriminar la calidad de las medidas obtenidas sobre todo cuando se utilizan de manera aislada.

En base a lo anterior, con respecto al reporte del análisis de regresión, los cuatro estudios incluidos reportaron valores de correlación (R) que varían entre 0.74 y 0.85, considerados como aceptables en comparación a su estándar de referencia. Por otra parte, los estudios de Moon 2009, Doran 2014 y Loenneke 2014 (29,30,31) reportaron el error estándar de estimación (EEE), con valores entre 2.2 y 3.8, y los estudios de Evans 2005, Moon 2009 y Loenneke 2014 (28,29,31) reportaron el error total (ET), presentando valores entre 2.7 y 5.2; mientras que, en ninguno de los estudios se reportaron los valores de coeficiente de determinación (R^2), ni de R^2 ajustado, siendo esta una limitante metodológica importante para la comprensión e interpretación de los resultados, y que además limita la posibilidad de generalizar los modelos a otras muestras.

Al respecto, cabe destacar que la ecuación desarrollada y validada por Evans 2005 (28), a pesar de no reportar el coeficiente de determinación (R^2) ni de R^2 ajustado, es la única que muestra el proceso de validación cruzada y emplea los gráficos de Bland y Altman y los límites de concordancia para calcular los intervalos de confianza de las diferencias para estimar la precisión del resultado. El método de Bland y Altman se utiliza para evaluar la concordancia entre dos métodos que miden la misma variable con la misma unidad de medida. No obstante,

siendo más exigentes con su proceso de validación, identificamos que no incluyeron el coeficiente de correlación de concordancia (CCC), propuesto por Lin, la cual representa una medida de precisión y exactitud con relación a la prueba de referencia.

De este modo, la ecuación que presenta mejores resultados de correlación es la propuesta por Evans et al. (E7), referida en el estudio de Moon 2009 (29), reportando los valores más altos de correlación (0.85) y los más bajos de Error Total (2.71) y de Error Estándar de Estimación (2.20), a pesar de ello, resulta arriesgado dar una conclusión sólida sobre cuál ecuación es la que mejor estima el componente de masa grasa en esta población, ya que los valores que resultan del análisis estadístico no son reportan en su totalidad.

Por otra parte, es probable que los estudios incluidos en esta revisión no tuvieran el poder estadístico para detectar pequeñas diferencias entre sexo, grupos étnicos o disciplina deportiva, ya que, al tratarse de una población muy selecta, es común que el tamaño de muestra sea considerablemente pequeño. La muestra que incluyó el mayor número de participantes y presentó la mayor diversidad tanto étnica como deportiva fue la de Evans E3 (28) con 132 participantes, que incluyó tantos hombres como mujeres de raza blanca y afrodescendiente, de las disciplinas deportivas de fútbol, basquetbol, voleibol, gimnasia, natación y atletismo.

Sin embargo, estas limitaciones dejan ver que existe una enorme ventana de oportunidad para mejorar el proceso de desarrollo y validación de las ecuaciones antropométricas, dejando ver la creciente necesidad de subsanar tanto los aspectos metodológicos como estadísticos en investigaciones futuras.

Fortalezas y debilidades de esta revisión

La solidez de este estudio se ve reforzada por la metodología empleada, la cual se basa en la propuesta por Cochrane (24) y en el Manual Cochrane para revisiones sistemáticas DTA, la cual incorpora 11 pasos principales para su desarrollo, destacando la exhaustividad en la búsqueda de la literatura y en el análisis de riesgo de sesgo a través de herramientas sólidas a las cuales nos apagamos de manera rigurosa.

Por lo tanto, las fortalezas principales de esta revisión sistemática radican en que su realización fue por dos investigadores independientes, teniendo un tercer investigador experto en esta metodología, adicionando que el proceso de búsqueda en la literatura no estuvo restringido por el idioma ni la temporalidad.

Cabe destacar que, se realizó el análisis de la calidad metodológica a cada uno de los estudios incluidos, contrario a lo encontrado en las revisiones sistemáticas de Silva, D. et al. (45) y Silva, M. et al. (46), las cuales no realizaron esta evaluación.

Una limitante importante que presenta esta revisión sistemática fue la imposibilidad que tuvimos de publicar el protocolo de investigación. Cabe mencionar que fue enviado a PROSPERO, sin embargo, debido a que los objetivos de este estudio están relacionados al rendimiento deportivo, no fue aceptado para su publicación.

Desde luego, uno de los principales retos que tuvimos al realizar esta revisión, fue verificar que los estudios cumplieran con los criterios de elegibilidad, específicamente con el reporte de los valores que indicaran la validez de los métodos.

2. Conclusiones

Implicaciones para la práctica

Actualmente, resulta arriesgado dar una conclusión sólida sobre cuál ecuación es la que mejor estima el componente de masa grasa en la población deportiva, ya que los valores que resultan del análisis estadístico no son reportan en su totalidad y existen limitaciones importantes con respecto al proceso de desarrollo y la validación de las ecuaciones antropométricas.

Sin embargo, la ecuación que presenta mejores resultados de correlación es la propuesta por Evans et al. (E7), referida en el estudio de Moon 2009 (29), reportando los valores más altos de correlación (0.85) y los más bajos de Error Total (2.71) y de Error Estándar de Estimación (2.20).

Implicaciones para la investigación

Existe una enorme ventana de oportunidad para mejorar el proceso de desarrollo de las ecuaciones antropométricas, por esta razón, se incita a la comunidad que trabaja en esta área a que, si desean generar nuevas ecuaciones, se enfoquen primero en hacer un reporte adecuado de los valores que resulten de la validación, así como subsanar tanto los aspectos metodológicos como estadísticos en investigaciones futuras.

De este modo, una revisión sistemática como la presente podría tener mayor perspectiva a futuro, favoreciendo el correcto diagnóstico de la composición corporal en la población de atletas de alto rendimiento y mejorando la intervención por parte del área clínica, sobre todo en competencias tan importantes como lo fueron los actuales Juegos Olímpicos de Tokyo 2020.

2.1 Recursos y financiamiento

Este proyecto de investigación se realizó con el apoyo de los recursos otorgados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a través de la Beca Nacional y en convenio con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) mediante el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud.

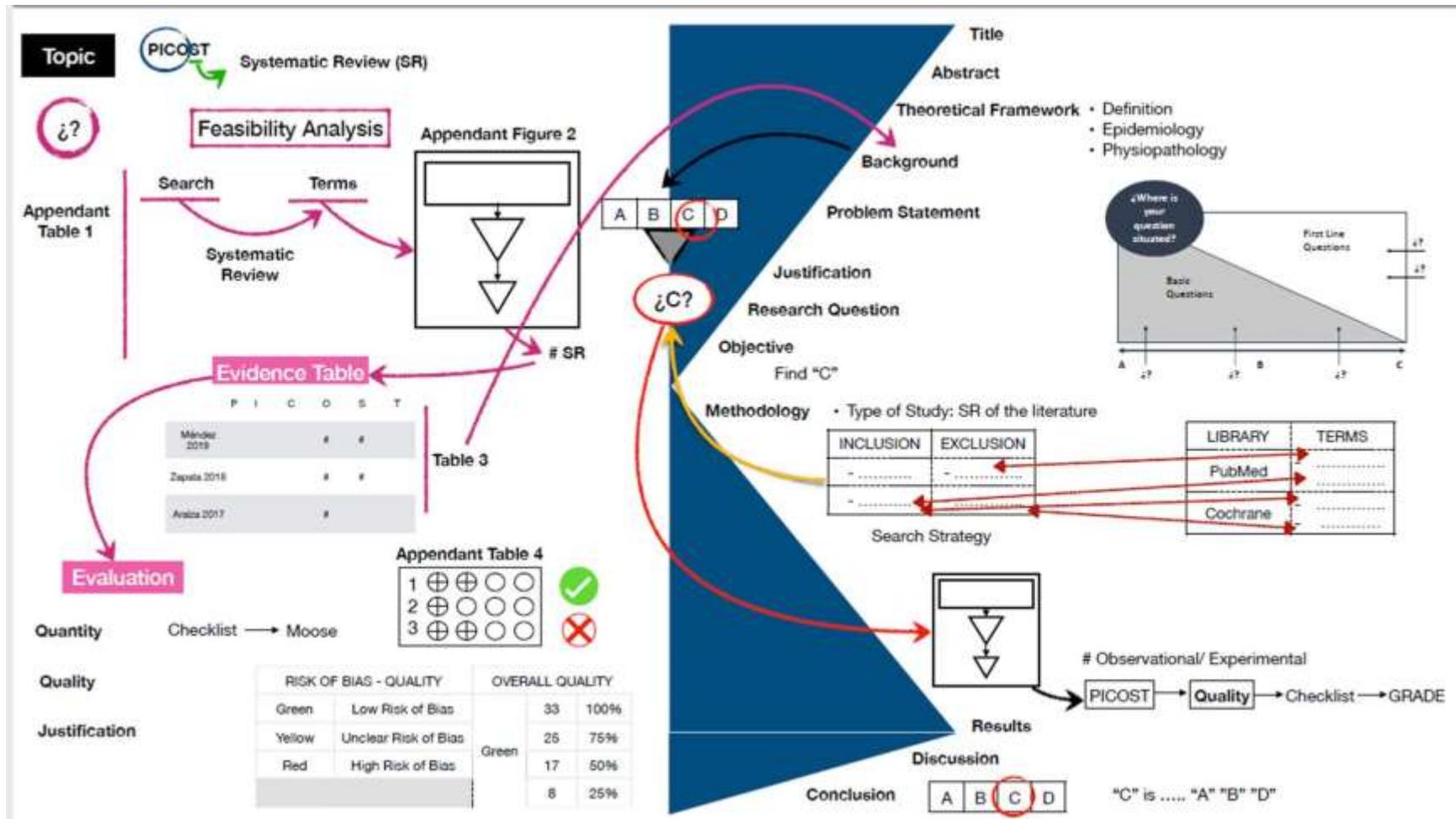
2.2 Consideraciones éticas

Este estudio no contiene experimentación con participantes humanos o animales, por tal razón, no representa riesgos de bioseguridad y no requiere un consentimiento informado. Los autores de esta revisión declaramos no tener ningún conflicto de interés.

2.3 Anexos

Análisis de factibilidad

Figura 12. Metodología del análisis de factibilidad



Méndez-Sánchez Lucía (2020)

Búsqueda de revisiones sistemáticas

Tabla 9. Resultados del análisis de factibilidad

Biblioteca	Resultados	Filtro Revisión Sistemática	Relacionados	Títulos
<i>Término de la búsqueda: Body composition in athletes</i>				
PubMed	10,057	182	9	<ol style="list-style-type: none"> 1. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. J Sci Med Sport. 2018 Jul;21(7):727-735. 2. Does HMB Enhance Body Composition in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. Holland BM, Roberts BM, Krieger JW, Schoenfeld BJ. J Strength Cond Res. 2019 Dec 20. 3. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. Sports Med. 2019 Nov;49(11):1687-1721. 4. Body Composition Outcomes of Tai Chi and Qigong Practice: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Larkey LK, James D, Belyea M, Jeong M, Smith LL. Int J Behav Med. 2018 Oct;25(5):487-501. 5. The effect of glutamine supplementation on athletic performance, body composition, and immune function: A systematic review and a meta-analysis of clinical trials. Ramezani Ahmadi A, Rayyani E, Bahreini M, Mansoori A. Clin Nutr. 2019 Jun;38(3):1076-1091. 6. Effect of the Combination of Creatine Monohydrate Plus HMB Supplementation on Sports Performance, Body Composition, Markers of Muscle Damage and Hormone Status: A Systematic Review. Fernández-Landa J, Calleja-González J, León-Guereño P, Caballero-García A, Córdova A, Mielgo-Ayuso J. Nutrients. 2019 Oct 20;11(10). pii: E2528. 7. Cycling and cardiovascular disease risk factors including body composition, blood lipids and cardiorespiratory fitness analysed as continuous variables: Part 2-systematic review with meta-analysis. Nordengen S, Andersen LB, Solbraa AK, Riiser A. Br J Sports Med. 2019 Jul;53(14):879-885. 8. Does Beef Protein Supplementation Improve Body Composition and Exercise Performance? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled

				Trials. Valenzuela PL, Mata F, Morales JS, Castillo-García A, Lucia A. Nutrients. 2019 Jun 25;11(6). pii: E1429. 9. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, Cyrino ES. Rev Assoc Med Bras (1992). 2013 Sep-Oct;59(5):475-86.
Cochrane	383	0	0	
TripDatabase	844	15	0	
Epistemonikos	11	8	4	1. Does HMB Enhance Body Composition in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. Holland BM, Roberts BM, Krieger JW, Schoenfeld BJ. J Strength Cond Res. 2019 Dec 20. 2. The effect of glutamine supplementation on athletic performance, body composition, and immune function: A systematic review and a meta-analysis of clinical trials. Ramezani Ahmadi A, Rayyani E, Bahreini M, Mansoori A. Clin Nutr. 2019 Jun;38(3):1076-1091. doi: 10.1016/j.clnu.2018.05.001. Epub 2018 May 9. 3. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Sports Med Open. 2017 Dec;3(1):8. 4. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. J Sci Med Sport. 2018 Jul;21(7):727-735.
<i>Término de la búsqueda: Body composition assessment in athletes</i>				
PubMed	3,801	87	9	1. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. J Sci Med Sport. 2018 Jul;21(7):727-735. doi: 10.1016/j.jsams.2017.11.003. Epub 2017 Nov 10. Review. PMID:29249685 2. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Sports Med Open. 2017 Dec;3(1):8. doi: 10.1186/s40798-017-0076-1. Epub 2017 Feb 4. Review 3. Effects of Ramadan fasting on body composition in athletes: a systematic review. Aloui A, Baklouti H, Souissi N, Chtourou H. Tunis Med. 2019 Oct;97(10):1087-1094.

				<ol style="list-style-type: none"> 4. Body composition assessment in athletes: a systematic review. Mazić S, Lazović B, Delić M, Lazić JS, Aćimović T, Brkić P. Med Pregl. 2014 Jul-Aug;67(7-8):255-60. Review. 5. Does HMB Enhance Body Composition in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. Holland BM, Roberts BM, Krieger JW, Schoenfeld BJ. J Strength Cond Res. 2019 Dec 20. 6. Effect of the Combination of Creatine Monohydrate Plus HMB Supplementation on Sports Performance, Body Composition, Markers of Muscle Damage and Hormone Status: A Systematic Review. Fernández-Landa J, Calleja-González J, León-Guereño P, Caballero-García A, Córdova A, Mielgo-Ayuso J. Nutrients. 2019 Oct 20;11(10). pii: E2528. 7. Body Composition Outcomes of Tai Chi and Qigong Practice: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Larkey LK, James D, Belyea M, Jeong M, Smith LL. Int J Behav Med. 2018 Oct;25(5):487-501. 8. Cycling and cardiovascular disease risk factors including body composition, blood lipids and cardiorespiratory fitness analysed as continuous variables: Part 2-systematic review with meta-analysis. Nordengen S, Andersen LB, Solbraa AK, Riiser A. Br J Sports Med. 2019 Jul;53(14):879-885. 9. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, Cyrino ES. Rev Assoc Med Bras (1992). 2013 Sep-Oct;59(5):475-86.
Cochrane	139	0	0	
TripDatabase	491	15	0	
Epistemonikos	1,802	638	15	<ol style="list-style-type: none"> 1. Effects of Ramadan fasting on body composition in athletes: a systematic review. Aloui A, Baklouti H, Souissi N, Chtourou H. Tunis Med. 2019 Oct;97(10):1087-1094 2. Does HMB Enhance Body Composition in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. Holland BM, Roberts BM, Krieger JW, Schoenfeld BJ. J Strength Cond Res. 2019 Dec 20. 3. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Sports Med Open. 2017 Dec;3(1):8. 4. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-

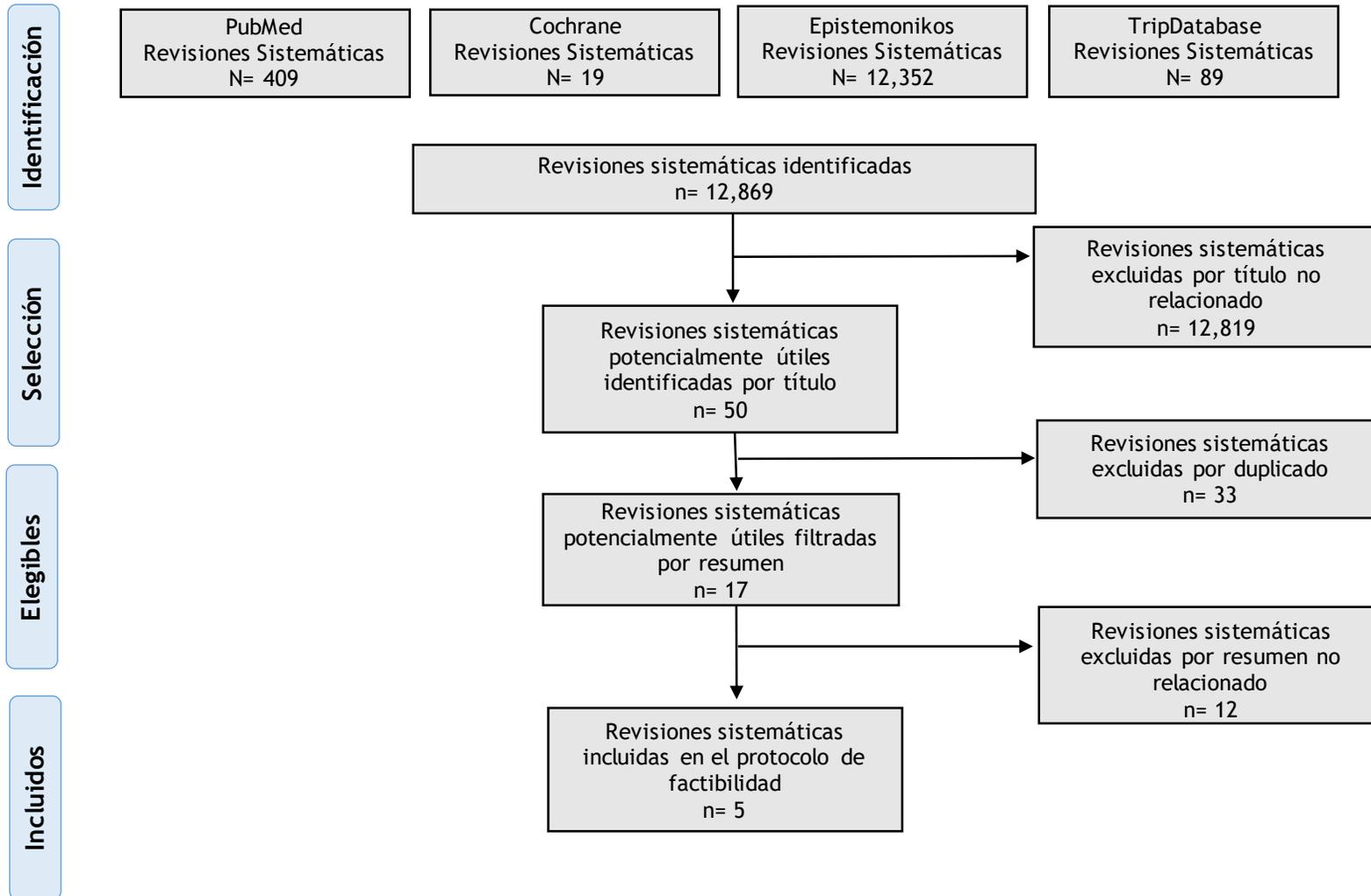
				<p>Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. J Sci Med Sport. 2018 Jul;21(7):727-735.</p> <p>5. The effect of glutamine supplementation on athletic performance, body composition, and immune function: A systematic review and a meta-analysis of clinical trials. Ramezani Ahmadi A, Rayyani E, Bahreini M, Mansoori A. Clin Nutr. 2019 Jun;38(3):1076-1091.</p> <p>6. Examining Race-Related Error in Two-Compartment Models of Body Composition Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis. Fedewa MV, Nickerson BS, Tinsley GM, Esco MR, Dunbar EG, Boucher AG, DeLeon RM. J Clin Densitom. 2019 Oct 30. pii: S1094-6950(19)30182-9.</p> <p>7. Effect of the Combination of Creatine Monohydrate Plus HMB Supplementation on Sports Performance, Body Composition, Markers of Muscle Damage and Hormone Status: A Systematic Review. Fernández-Landa J, Calleja-González J, León-Guereño P, Caballero-García A, Córdova A, Mielgo-Ayuso J. Nutrients. 2019 Oct 20;11(10). pii: E2528.</p> <p>8. Comparison of body composition methods: A literature analysis. Fogelholm M. , Van Marken Lichtenbelt W.</p> <p>9. Body Composition Outcomes of Tai Chi and Qigong Practice: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Larkey LK, James D, Belyea M, Jeong M, Smith LL. Int J Behav Med. 2018 Oct;25(5):487-501.</p> <p>10. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, Cyrino ES. Rev Assoc Med Bras (1992). 2013 Sep-Oct;59(5):475-86.</p> <p>11. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. Sports Med. 2019 Nov;49(11):1687-1721.</p> <p>12. Evaluation of body composition parameters using various diagnostic methods: A meta analysis study.</p> <p>13. Does Beef Protein Supplementation Improve Body Composition and Exercise Performance? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials.</p> <p>14. Cycling and cardiovascular disease risk factors including body composition, blood lipids and cardiorespiratory fitness analysed as continuous variables: Part 2-</p>
--	--	--	--	--

				<p>systematic review with meta-analysis. Nordengen S, Andersen LB, Solbraa AK, Riiser A. Br J Sports Med. 2019 Jul;53(14):879-885.</p> <p>15. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation during resistance training on strength, body composition, and muscle damage in trained and untrained young men: a meta-analysis.</p>
<i>Término de la búsqueda: Validity of anthropometric equations</i>				
PubMed	522	2	2	<ol style="list-style-type: none"> 1. A PRISMA-driven systematic review of predictive equations for assessing fat and fat-free mass in healthy children and adolescents using multicomponent molecular models as the reference method. Silva AM, Fields DA, Sardinha LB. J Obes. 2013;2013:148696. doi: 10.1155/2013/148696. Epub 2013 Jun 6. Review 2. Predicting muscle mass from anthropometry using magnetic resonance imaging as reference: a systematic review. Al-Gindan YY, Hankey CR, Leslie W, Govan L, Lean ME. Nutr Rev. 2014 Feb;72(2):113-26.
Cochrane	60	0	0	
TripDatabase	223	3	0	
Epistemonikos	4,191	1694	0	
<i>Término de la búsqueda: Body composition assessment in sport</i>				
Pubmed	4,346	104	8	<ol style="list-style-type: none"> 1. CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. Claudino JG, Gabbett TJ, Bourgeois F, Souza HS, Miranda RC, Mezêncio B, Soncin R, Cardoso Filho CA, Bottaro M, Hernandez AJ, Amadio AC, Serrão JC. Sports Med Open. 2018 Feb 26;4(1):11. 2. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on strength and body composition in trained and competitive athletes: A meta-analysis of randomized controlled trials. Sanchez-Martinez J, Santos-Lozano A, Garcia-Hermoso A, Sadarangani KP, Cristi-Montero C. J Sci Med Sport. 2018 Jul;21(7):727-735. 3. Effects of Ramadan fasting on body composition in athletes: a systematic review. Aloui A, Baklouti H, Souissi N, Chtourou H. Tunis Med. 2019 Oct;97(10):1087-1094 Does HMB Enhance Body Composition in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. Holland BM, Roberts BM, Krieger JW, Schoenfeld BJ. J Strength Cond Res. 2019 Dec 20. 4. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. Heydenreich J, Kayser B, Schutz Y, Melzer K. Sports Med Open. 2017 Dec;3(1):8.

				<ol style="list-style-type: none"> 5. Body composition assessment in athletes: a systematic review. Mazić S, Lazović B, Delić M, Lazić JS, Aćimović T, Brkić P. Med Pregl. 2014 Jul-Aug;67(7-8):255-60. Review. 6. Examining Race-Related Error in Two-Compartment Models of Body Composition Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis. Fedewa MV, Nickerson BS, Tinsley GM, Esco MR, Dunbar EG, Boucher AG, DeLeon RM. J Clin Densitom. 2019 Oct 30. pii: S1094-6950(19)30182-9. 7. Body Composition Outcomes of Tai Chi and Qigong Practice: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Larkey LK, James D, Belyea M, Jeong M, Smith LL. Int J Behav Med. 2018 Oct;25(5):487-501. 8. Cycling and cardiovascular disease risk factors including body composition, blood lipids and cardiorespiratory fitness analysed as continuous variables: Part 2-systematic review with meta-analysis. Nordengen S, Andersen LB, Solbraa AK, Riiser A. Br J Sports Med. 2019 Jul;53(14):879-885.
Cochrane	193	3	0	
TripDatabase	1,064	48	0	
Epistemonikos	4,735	1,959	2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Examining Race-Related Error in Two-Compartment Models of Body Composition Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis. 2. Validity of the Body Adiposity Index in Predicting Body Fat in Adults: A Systematic Review. Cerqueira MS , Santos CAD , Silva DAS , Amorim PRDS , Marins JCB , Franceschini SDCC
<i>Término de la búsqueda: Anthropometric measurements in sport</i>				
PubMed	3,306	31	0	
Cochrane	137	1	0	
TripDapabase	368	4	0	
Epistemonikos	11,470	5,442	0	
<i>Término de la búsqueda: Body fat equations in athletes</i>				
PubMed	485	3	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, Cyrino ES. Rev Assoc Med Bras (1992). 2013 Sep-Oct;59(5):475-86.

Cochrane	11	0	0	
TripDapabase	91	4	0	
Epistemonikos	7,043	2,611	0	

Figura 13. Diagrama de flujo de la búsqueda e inclusión de revisiones sistemáticas que sustentan la factibilidad de la presente revisión sistemática (protocolo de factibilidad).



Riesgo de sesgo de los estudios incluidos en el análisis de factibilidad

Figura 14. Adaptación de la herramienta AMSTAR-2 (herramienta de evaluación crítica de revisiones sistemáticas de estudios de intervenciones de salud).

Revisión Sistemática	Pregunta de Investigación	Estrategia de búsqueda	Tabla de evidencia	Calidad de la evidencia	% de cumplimiento
Silva D et al., 2013					50
Silva M, et al., 2013					50
Al-Gindan Y, et al., 2014					75
Santos M, et al., 2018					75
Fedewa MV, et al., 2019					75

3. Referencias bibliográficas

Referencias:

1. Carnero, EA., Alvero-Cruz, JR., Giráldez, MA., & Sardinha, LB. (2015). La evaluación de la composición corporal "in vivo": parte I: perspectiva histórica. *Nutrición Hospitalaria*, 31(5), 1957-1967.
2. Wang, ZM., Pierson RN Jr., Heymsfield SB. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr.*, 56(1), 19-28.
3. Ackland, TR., Lohman, TG., Sundgot-Borgen J., Maughan RJ., Meyer NL., Stewart AD. & Müller W. (2012). Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med.*, 42(3), 227-49.
4. De Souza, L., Priore, SE. & Do Carmo, C. (2009). Methods of body composition evaluation in children. *Revista Paulista de Pediatria*, 27 (3), 315-321.
5. Mazić, S., Lazović, B., Delić, M., Lazić, JS., Aćimović, T. & Brkić, P. (2014). Body composition assessment in athletes: a systematic review. *Med Pregl*, 67(7-8) 255-60.
6. ANEXO del Acuerdo número 05/02/19. Reglas de Operación del Programa de Cultura Física y Deporte para el ejercicio fiscal 2019, publicado el 28 de febrero de 2019.
7. Bilsborough, JC., Greenway, K., Opar, D., Livingstone, S., Cordy, J. & Aaron James Coutts. (2014). The accuracy and precision of DXA for assessing body composition in team sport athletes, *Journal of Sports Sciences*, 32 (19), 1821-1828.
8. Kasper, AM., Langan-Evans, C., Hudson, JF., Brownlee, TE., Harper, LD., Naughton, RJ., Morton, JP. & Close, GL. (2021). Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*, 13(4), 1075.
9. Waki, H. & Tontonoz, P. (2007). Endocrine functions of adipose tissue. *Annu Rev Pathol*, (2), 31-56.
10. Heyward, VH. (2011). ASEP Methods recommendation: body composition assessment. *Journal of Exercise Physiology*, 4 (4), 1-12.
11. Hernández-Ortega, A., & Osuna-Padilla, I. (2020). Concordancia entre técnicas de composición corporal en niños y adolescentes: revisión narrativa de la literatura. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 58(2), 181-196.

12. Wang, ZM., Shen, W., Withers, RT. & Heymsfield, SB. (2005). Multicomponent molecular level model of body composition analysis. In: Heymsfield, SB., Lohman TG. & Going, SB. Human Body Composition. *Human Kinetics*, 163-76.
13. Bea, W. & Cureton, K. (2020). Body Composition Models and Reference Methods. En Lohman TG., & Milliken L. *ACSM's Body Composition Assessment*, (26-48).
14. Sheean, P., Gonzalez MC., Prado CM., McKeever, L., Hall, AM. & Braunschweig CA. (2019). American Society for Parenteral and Enteral Nutrition Clinical Guidelines: The Validity of Body Composition Assessment in Clinical Populations. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 44(1), 12-43.
15. De Rose, EH. & Aragonés, MT. (1984). La Cineantropometría en la evaluación funcional del atleta. *Archivos Medicina Deporte*, Vol. I, Núm. 0, 45-53.
16. Malina RM. (1995). Antropometría. *PubliCE*. 0
17. Esparza-Ros, F., Vaquero-Cristobal R. & Marfell-Jones, M. (2001). Protocolo Internacional para la Valoración Antropométrica. *Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría*. Primera edición.
18. Aragonés, CM. (2004). The Kinanthropometry in the field sport: 20 years after. *AMD*, Volumen XXI - N.º 100, 129-133.
19. Holway, F. (2010). Cap. 8. Composición corporal en nutrición deportiva. En *Nutrición aplicada al deporte* (pp. 195-226). México: Mc Graw Hill.
20. Terwee, CB., Bot, SD., De Boer, MR., Van der Windt, DA., Knol, DL., Dekker, J., Bouter, LM. & De Vet, HC. (2007). Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. *J Clin Epidemiol*, 60(1), 34-42.
21. Latour, J., Abaira, V., Cabello, BJ. & López-Sánchez, J. (1997). Investigation methods in clinical cardiology (IV) Clinical measurement in cardiology: validity and measurement error. *Rev Esp Cardiol*, 50(2), 117-128.
22. Whiting, PF., Rutjes, AW., Westwood, ME., Mallett, S., Deeks, JJ., Reitsma, JB., Leeflang, MM., Sterne, JA. & Bossuyt, PM. (2011). QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. *Ann Intern Med*, 55(8), 529-36.
23. Ciapponi, A. (2015). QUADAS-2: instrumento para la evaluación de la calidad de estudios de precisión diagnóstica. *Evid actual pract ambul* [Internet]. 18(1). Disponible en: <http://www.evidencia.org/index.php/Evidencia/article/view/6341>
24. Nuevo ecosistema de las revisiones Cochrane. Disponible en: https://es.cochrane.org/es/ecosistema_revisiones
25. Toombs, RJ., Ducher, G., Shepherd, JA. & De Souza, MJ. (2012). The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity*, 20(1), 30-39.

26. Tothill, P., Avenell, A., & Reid, DM. (1994). Precision and accuracy of measurements of whole-body bone mineral: comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy X-ray absorptiometers. *The British Journal of Radiology*, 67(804), 1210-1217.
27. Tylavsky, A. & Lohman, T., Blunt A. (2003). QDR 4500A DXA overestimates fat-free mass compared with criterion methods. *Journal of Applied Physiology*, 94(3), 959-965.

Estudios incluidos

28. Evans, EM., Rowe, DA., Mistic, MM., Prior, BM. & Arngrímsson SÁ. (2005). Skinfold Prediction Equation for Athletes Developed Using a Four-Component Model. *Med. Sci. Sports Exerc*, 37(11), 2006-2011.
29. Moon, JR., Tobkin, SE., Smith, AE., Lockwood, CM., Walter, AA., Cramer JT., Beck, TW. & Stout JR. (2009). Anthropometric estimations of percent body fat in NCAA Division I female athletes: a 4-compartment model validation. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1068-76.
30. Doran, DA., Mc Geever, S., Collins, KD., Quinn, C., McElhone, R. & Scott, M. (2014). The validity of commonly used adipose tissue body composition equations relative to dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in gaelic games players. *Int J Sports Med*, 35(2), 95-100.
31. Loenneke, JP., Wray, ME., Wilson, JM., Barnes, JT., Kearney, ML. & Pujol, TJ. (2013). Accuracy of Field Methods in Assessing Body Fat in Collegiate Baseball Players, Research in Sports Medicine. *An International Journal*, 21(3), 286-291.

Estudios excluidos

32. Gurovich, M., MacMillan K., Dempster, P. & Flores, A. (1995). Validation of kineanthropometrical method: study in a group of chilean athletes of high performance. *Rev. chil. Anat*, 13(1), 5-9.
33. Ozcakar, L. (2003). Comparative body fat assessment in elite footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 37(3), 278-279.
34. Carey, D. (2000). The validity of anthropometric regression equations in predicting percent body fat in collegiate wrestlers. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(3), 254-9.
35. Goel, K., Gupta, N., Misra, A., Poddar, P., Pandey, RM., Vikram, NK. & Wasir, JS. (2009). Predictive equations for body fat and abdominal fat with DXA and MRI as reference in Asian Indians. *Obesity*, 16(2), 451-6.
36. Sillanpää, E., Häkkinen, A. & Häkkinen, K. (2013). Body composition changes by DXA, BIA and skinfolds during exercise training in women. *Eur J Appl Physiol*, 113(9), 2331-41.

37. Kendall, KL., Fukuda, DH., Hyde, PN., Smith-Ryan, AE., Moon, JR. & Stout, JR. (2017). Estimating fat-free mass in elite-level male rowers: a four-compartment model validation of laboratory and field methods. *J Sports Sci*, 35(7), 624-633.
38. Delaney, JA., Thornton, HR., Scott, TJ., Ballard, DA., Duthie, GM., Wood, LG. & Dascombe, BJ. (2016). Validity of Skinfold-Based Measures for Tracking Changes in Body Composition in Professional Rugby League Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 261-6.
39. Riyahi-Alam, S., Mansournia, MA., Kabirizadeh, Y., Mansournia, N., Steyerberg, E. & Kordi, R. (2017). Development and Validation of a Skinfold Model for Estimation of Body Density for a Safe Weight Reduction in Young Iranian Wrestlers. *Sports Health*, 9(6), 564-569.
40. Lozano-Berges, G., Gómez-Bruton, A., Matute-Llorente, A., Julián-Almárcegui, C., Gómez-Cabello, A., González-Agüero, A., Casajús, JA. & Vicente-Rodríguez, G. (2017). Assessing Fat Mass of Adolescent Swimmers Using Anthropometric Equations: A DXA Validation Study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 88(2), 230-236.
41. Al-Gindan, YY., Hankey, CR., Govan, L., Gallagher, D., Heymsfield, SB. & Lean, ME. (2015). Derivation and validation of simple anthropometric equations to predict adipose tissue mass and total fat mass with MRI as the reference method. *Br J Nutr*, 114(11), 1852-67.
42. Lozano-Berges, G., Matute-Llorente, Á., Gómez-Bruton, A., González-Agüero, A., Vicente-Rodríguez, G. & Casajús, JA. (2019). Accurate Prediction Equation to Assess Body Fat in Male and Female Adolescent Football Players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 29(3), 297-302.
43. Nuñez, FJ., Munguia-Izquierdo, D., Petri, C. & Suarez-Arrones, L. (2019). Field Methods to Estimate Fat-free Mass in International Soccer Players. *Int J Sports Med*, 40(10), 619-624.
44. Nickerson, BS., Tinsley, GM. & Esco, MR. (2019). Validity of Field and Laboratory Three-Compartment Models in Healthy Adults. *Med Sci Sports Exerc*, 51(5), 1032-1039.

Revisiones sistemáticas del protocolo de factibilidad

45. Silva, D. (2013). Validade dos métodos para avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes por meio de modelos multicompartimentais: uma revisão sistemática. *Revista da Associação Médica Brasileira*, [online]. 59(5), 475-486.
46. Silva, AM., Fields, DA., & Sardinha, LB. (2013). A PRISMA-driven systematic review of predictive equations for assessing fat and fat-free mass in healthy children and adolescents using multicomponent molecular models as the reference method. *Journal of obesity*, 2013, 148696.

47. Al-Gindan, Y.Y., Hankey, C. R., Leslie, W., Govan, L., & Lean, M. E. (2014). Predicting muscle mass from anthropometry using magnetic resonance imaging as reference: a systematic review. *Nutrition reviews*, 72(2), 113–126.
48. Cerqueira, M.S., Santos, C., Silva, D., Amorim, P., Marins, J., & Franceschini, S. (2018). Validity of the Body Adiposity Index in Predicting Body Fat in Adults: A Systematic Review. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 9(5), 617–624.
49. Fedewa, MV., Nickerson, BS., Tinsley, GM., Esco, MR., Dunbar, EG., Boucher, AG., & DeLeon, RM. (2021). Examining Race-Related Error in Two-Compartment Models of Body Composition Assessment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 24(1), 156–168.

Otras referencias

50. Page, MJ., McKenzie JE., Bossuyt, PM., Boutron, I., Hoffmann, TC. & Mulrow, CD. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71).
51. Stroup, DF., Berlin, JA., Morton, SC., Olkin, I., Williamson, GD., Rennie, D., Moher, D., Becker, BJ., Sipe, TA. & Thacker, SB. (2000). Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting. Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group. *JAMA*, 283(15), 2008-2012.
52. Méndez-Sánchez, L., Lima Sanchez, D., Landa-Ramírez, E., Fajardo Dolci, G. (2020). Teaching proposal for rapid reviews to colleagues and students of diverse training in health, using a 'feasibility pilot'. In: Abstracts of the 26th Cochrane Colloquium, Santiago, Chile. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2020;(1 Suppl 1).