

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Salud Pública y Nutrición



**VALIDEZ DE ECUACIONES Y EQUIPOS DE
BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA PARA PREDECIR LA
MASA MUSCULAR EN ADULTOS MAYORES**

POR:

L.N. ANDREA ELIZABETH SEGOVIA VALDES

**COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN**

AGOSTO 2022

Monterrey, N.L.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Salud Pública y Nutrición
Maestría en Ciencias en Nutrición



**VALIDEZ DE ECUACIONES Y EQUIPOS DE
BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA PARA PREDECIR LA
MASA MUSCULAR EN ADULTOS MAYORES**

POR:

L.N. ANDREA ELIZABETH SEGOVIA VALDES

DIRECTOR:

DR. ERIK RAMIREZ LOPEZ

AGOSTO 2022

Monterrey, N.L.

AGRADECIMIENTOS

Estoy agradecida infinitamente con Dios por darme la visión de continuar con mi preparación académica para poder servir mejor a la sociedad, con más conocimientos y un criterio más acertado.

Gracias a mi Alma mater la Universidad Autónoma de Nuevo León y la Facultad de Salud Pública y Nutrición, por la oportunidad académica y profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado en estos años de maestría.

A mi director de tesis el Dr. Erik Ramírez López, por ser quien sembró la semilla que despertó mi deseo por iniciar el posgrado, por compartirme su conocimiento y experiencia, por su dedicación y tiempo brindado para apoyarme durante todo el posgrado.

A cada uno de los docentes de la Maestría en Ciencias en Nutrición, por compartir sus conocimientos y experiencias, dentro y fuera del aula.

A cada uno de mis compañeros de generación, ya que todos ellos aportaron conocimientos en el camino, me brindaron su apoyo y su amistad, facilitando cada uno de los retos que se presentaron en el camino.

Y muy especialmente a mis papás, mi hermana y mi abuelita, por apoyar siempre mis decisiones, confiar en mí y estar presentes siempre que los necesito.

Gracias a cada uno de ustedes.

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermana y mi abuelita, por su infinito amor y apoyo incondicional. Por ayudarme a alcanzar mis metas, y confiar en mí.

Al Dr. Erik Ramírez, quien sembró la semilla para que tomara la decisión de comenzar mi posgrado, además de brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente, compartiendo sus conocimientos conmigo.

TABLA DE CONTENIDO

ANTECEDENTES	8
SARCOPENIA EN EL ADULTO MAYOR	9
BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA	10
CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA.....	10
CÁLCULO DE LA MASA MUSCULAR	12
COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA MASA MUSCULAR POR MEDIO DE EQUIPOS COMERCIALES DE BIOIMPEDANCIA VS DXA.....	14
ECUACIONES ESPECÍFICAS BASADAS EN BIE PARA CALCULAR MMA	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
PREGUNTA GENERAL DE INVESTIGACIÓN	16
PREGUNTAS ESPECÍFICAS DE INVESTIGACIÓN.....	16
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
MATERIAL Y MÉTODOS	18
CONDICIONES DEMOGRÁFICAS	19
TÉCNICA MUESTRAL.....	19
TAMAÑO DE LA MUESTRA	19
CRITERIOS DE INCLUSIÓN	20
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	20
CRITERIOS DE ELIMINACIÓN	21
MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS	21
MEDICIÓN DE TEJIDO MAGRO SIN HUESO CON LA DXA	21
MEDICIONES DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA (BIE).....	21
DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES ESPECIFICAS PARA PREDECIR LA MMA EN EQUIPOS DE BIE	24
COMPARACIÓN DE LA MMA DE LOS EQUIPOS COMERCIALES DE BIE VS. DXA.....	27
RESULTADOS:	29

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN ESPECIFICA PARA EL EQUIPO BODYSTAT®	33
DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN ESPECIFICA PARA EL EQUIPO TANITA 418®	39
VALIDACIÓN DEL EQUIPO COMERCIAL TANITA 418®	45
VALIDACIÓN DEL EQUIPO COMERCIAL INBODY 120®	46
DISCUSIÓN:	48
CONCLUSIONES:	53
REFERENCIAS:	54
ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	28
Tabla 2	Datos descriptivos (media \pm desviación estándar) de las características generales de la muestra.	30
Tabla 3	Matriz de correlación entre la variable dependiente y las variables independientes del estudio.	31
Tabla 4	Verificación de los supuestos de la regresión lineal entre las variables independientes y la dependiente.	32
Tabla 5	Comparación de las características de los grupos empleados para el desarrollo de la ecuación y la validación	33
Tabla 6	Selección de las variables para la predicción de la MMA con el equipo BODYSTAT®	34
Tabla 7	Desarrollo de la ecuación de la MMA con el equipo BODYSTAT®	34
Tabla 8	Ecuación de regresión para el modelo BODYSTAT®	35
Tabla 9	Diagnóstico de la ecuación BODYSTAT®	35
Tabla 10	Masa apendicular muscular estimada por la ecuación BODYSTAT® y por el método de referencia	37
Tabla 11	Datos de concordancia y validación de la ecuación para el equipo BODYSTAT®	38
Tabla 12	Selección de las variables para la predicción de la MMA con el equipo TANITA 418®	40
Tabla 13	Desarrollo de la ecuación de la MMA TANITA 418®	40
Tabla 14	Análisis de regresión del modelo TANITA 418®	41
Tabla 15	Diagnóstico de la ecuación TANITA 418®	41
Tabla 16	Datos de concordancia y validación del equipo INBODY 120®	43
Tabla 17	Datos de concordancia y validación de la ecuación para el equipo TANITA 418®	44
Tabla 18	Datos de concordancia y validación del equipo TANITA 418®	45
Tabla 19	Datos de concordancia y validación del equipo INBODY 120®	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de flujo de antecedentes	8
Figura 2	Equipo de práctica clínica e investigación Inbody120®	11
Figura 3	Equipo de práctica clínica e investigación Tanita 418®	11
Figura 4	Equipo de práctica clínica e investigación RJL Quantum®	11
Figura 5	Equipo de práctica clínica e investigación Bodystat Quadscan 4000®	11
Figura 6	Densitómetro óseo GE Lunar Prodigy (DXA)	14
Figura 7	Diagrama de flujo de metodología.	18
Figura 8	Cálculo de la muestra para estudio de validación de los equipos TANITA 418® e INBODY 120®.	20
Figura 9	Medición en Tanita BC 418®	22
Figura 10	Medición en Bodystat Quadscan 4000®	23
Figura 11	Medición en InBody 120®	24
Figura 12	Gráfica de Homogeneidad de la varianza de la ecuación BODYSTAT®.	36
Figura 13	Histograma de normalidad de los residuales de la ecuación BODYSTAT®	36
Figura 14	Gráfica de Normalidad de los residuales de la ecuación BODYSTAT®.	37
Figura 15	Gráfica de Bland & Altman de ecuación BODYSTAT®.	39
Figura 16	Gráfica de Homogeneidad de la varianza de la ecuación TANITA 418®	42
Figura 17	Histograma de normalidad de los residuales de la ecuación TANITA418®	42
Figura 18	Gráfica de Normalidad de los residuales de la ecuación TANITA 418®.	43
Figura 19	Gráfica de Bland & Altman de ecuación TANITA 418®.	44
Figura 20	Gráfica de Bland & Altman de equipo TANITA 418®.	46
Figura 21	Gráfica de Bland & Altman de equipo INBODY 120®.	47

NOMENCLATURA

ACT	Agua corporal total
BIE	Bioimpedancia eléctrica
cm	Centímetros
cm²	Centímetro cuadrado
DE	Desviación estándar
Dina máx	Dinamometría máxima
DXA	Absorciometría dual de energía de rayos X
EEE	Error estándar del estimador
ENSANUT	Encuesta nacional de salud y nutrición
FASPIN	Facultad de Salud Pública y Nutrición
FIV	Factor de inflación de la varianza
IMC	Índice de masa corporal
kg	Kilogramos
m	Metros
m²	Metro cuadrado
MG	Masa grasa
MLG	Masa libre de grasa
MM	Masa muscular
MMA	Masa muscular apendicular
MMA 418	Masa Muscular Apendicular estimada por equipo TANITA BC-418
MMA DXA	Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X
MMA EC418	Masa Muscular Apendicular estimada por la ecuación desarrollada con el equipo TANITA 418®
MMA ECBS	Masa Muscular Apendicular estimada por la ecuación desarrollada con el equipo BODYSTAT®
MMA IBD	Masa Muscular Apendicular estimada por equipo InBody 120
MMT	Masa muscular total
n	Número de sujetos
NA	Número de acondicionamiento
P	Perímetro.
R	Resistencia
R²	Coeficiente de determinación
RM	Resonancia magnética
T	Talla
T2/R BS	índice de resistencia
T2/Xc BS	índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000
T2/Z 418	índice de impedancia estimado con equipo TANITA BC-418
TAC	Tomografía axial computariza
Xc	Reactancia
Z	Impedancia

RESUMEN

VALIDEZ DE ECUACIONES Y EQUIPOS DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA PARA PREDECIR LA MASA MUSCULAR EN ADULTOS MAYORES

Introducción: Existen diversas técnicas para la medición o estimación de la masa muscular (MM). La estimación de la MM por medio de bioimpedancia eléctrica (BIE) puede ser a partir de los resultados que calculan algunos equipos o por medio de fórmulas desarrolladas que utilizan datos predictores arrojados por el equipo de BIE. A pesar de ser una técnica accesible y económica, no hay una validación de los resultados de cada equipo de BIE en adultos mayores mexicanos. Una manera de verificar la validez de la estimación de la masa muscular apendicular (MMA) es comparando los resultados de diversos equipos de BIE de una población específica. Con esto, se busca facilitar la predicción de la MM para evaluar el riesgo de sarcopenia en adultos mayores.

Objetivo: Validar ecuaciones y equipos de bioimpedancia eléctrica para predecir la masa muscular en adultos mayores.

Metodología: Estudio observacional transversal, aprobado por el comité de ética y de investigación de la UANL. Se utilizó la información de la base de datos correspondiente a un estudio previo, con una muestra de 251 adultos mayores de 60 años, residentes de Nuevo León. Se extrajeron datos antropométricos; Resistencia (R), Reactancia (Xc), bioimpedancia (Z) y MMA de la Tanita BC-418®, el Bodystat Quadscan 4000® y el Inbody 120®. La MMA de referencia se tomó con la DXA. Para la calidad de los datos se eliminaron valores extremos. Posteriormente, se verificaron los supuestos de la regresión. Se diseñó la ecuación con 2/3 de la muestra y se validó con el tercio restante. Para la validación de la estimación de la MMA del Inbody 120® y la Tanita BC-418® se compararon los resultados de la MMA obtenidos con los equipos de BIE vs. La MMA obtenida por DXA.

Resultados: El modelo final de la ecuación para el equipo Tanita BC-418® fue $0.986 + (3.637 * \text{Sexo}) + (0.080 * \text{Peso}) + (0.220 * T^2/Z \text{ 418})$. No mostró sesgo ($p = 0.874$), es precisa y no mostró tendencia a subestimar o sobreestimar la predicción de los resultados ($p = 0.91$). Para el equipo Bodystat, el modelo final fue $1.136 + (0.222 * T^2 / R \text{ BS}) + (3.141 * \text{Sexo}) + (0.064 * \text{Peso})$. No mostró sesgo ($p = 0.086$), es precisa y no mostró tendencia a subestimar o sobreestimar la predicción de los resultados ($p = 0.78$). La estimación de MMA del equipo Tanita BC-418® sí mostró sesgo ($p < 0.0001$) en su exactitud, además, la precisión va de -1.5 a +4.6 kg de MMA, con tendencia a sobreestimar a menores cantidades de MMA y subestimar la predicción en sujetos con más MMA ($p < 0.0001$). El equipo Inbody 120® también mostró sesgo en su exactitud ($p < 0.0001$), su precisión va de -1.5 a +4.6 kg de MMA, sin embargo, no mostró tendencia a sobreestimar o subestimar la predicción de la MMA ($p = 0.572$).

Conclusión: Desarrollamos y validamos dos ecuaciones de predicción de MMA para adultos mayores mexicanos, precisas y exactas respecto al estándar de referencia DXA, que podrán ser empleadas para la estimación de la MMA mientras se cuente con el mismo equipo con el que se desarrolló la ecuación. Por otra parte, las estimaciones de MMA obtenida con los equipos de BIE comerciales Inbody 120® y Tanita-418® tienen sesgo en adultos mayores mexicanos, siendo mayor en el equipo Tanita-418®.

ABSTRACT
**VALIDITY OF ELECTRICAL BIOIMPEDANCE EQUATIONS AND DEVICES TO
PREDICT MUSCULAR MASS IN OLDER ADULTS**

Introduction: There are various techniques for measuring or estimating muscle mass (MM). The estimation of the MM through electrical bioimpedance (BIE) can be based on the results calculated by some devices or developed formulas that use predictive data produced by the BIE device. Despite being an accessible and inexpensive technique, there is no validation of the results of each BIE device in older Mexican adults. One way to verify the validity of the estimation of appendicular muscle mass (MMA) is by comparing the results of different BIE devices of a specific population. With this, it is sought to facilitate the prediction of MM to assess the risk of sarcopenia in older adults.

Objective: To validate electrical bioimpedance equations and devices to predict muscle mass in older adults.

Methodology: Cross-sectional observational study, approved by the ethics and research committee of the UANL. Information from the database corresponding to a previous study was used, with a sample of 251 adults over 60 years of age, residents of Nuevo León. Anthropometric data were extracted; Resistance (R), Reactance (Xc), bioimpedance (Z), and MMA of a Tanita BC-418®, a Bodystat Quadscan 4000®, and an Inbody 120®. The reference MMA was taken with DXA. Outliers were removed for data quality. Subsequently, the assumptions of the regression were verified. The equation was designed with 2/3 of the sample, and it was validated with the remaining third. For validation of the MMA estimation (Inbody 120® and Tanita BC-418®), the results of MMA were compared vs. the MMA obtained by DXA.

Results: The final model of the equation for the Tanita BC-418® device was $0.986 + (3.637 * \text{Sex}) + (0.080 * \text{Weight}) + (0.220 * T^2 / Z_{418})$. It showed no bias ($p = 0.874$), it is accurate, and it showed no tendency to underestimate or overestimate the prediction of the results ($p = 0.91$). For the Bodystat device, the final model was $1.136 + (0.222 * T^2 / R_{BS}) + (3.141 * \text{Sex}) + (0.064 * \text{Weight})$. It showed no bias ($p = 0.086$), it is accurate, and it showed no tendency to underestimate or overestimate the prediction of the results ($p = 0.78$). The estimation of MMA of the Tanita BC-418® device did show bias ($p < 0.0001$) in its accuracy, in addition, the precision ranges from -1.5 to +4.6 kg of MMA, with a tendency to overestimate lower amounts of MMA and underestimate the prediction in subjects with more MMA ($p < 0.0001$). The Inbody 120® device also showed bias in its accuracy ($p < 0.0001$), its precision ranged from -1.5 to +4.6 kg MMA. However, it did not show a tendency to overestimate or underestimate the prediction of MMA ($p = 0.572$).

Conclusion: We developed and validated two prediction equations for MMA for older Mexican adults, precise according to the DXA reference standard, which can be used to estimate MMA as long as the same device with which the equation was developed, is available. On the other hand, the estimates of MMA obtained with the commercial BIE devices Inbody 120® and Tanita-418® are biased in older Mexican adults, being higher in the Tanita-418® equipment.

ANTECEDENTES

Para visualizar la información descrita en los antecedentes del estudio de una manera global, se anexó un diagrama de flujo donde se resumen todas las ideas descritas a continuación. **(Figura 1).**

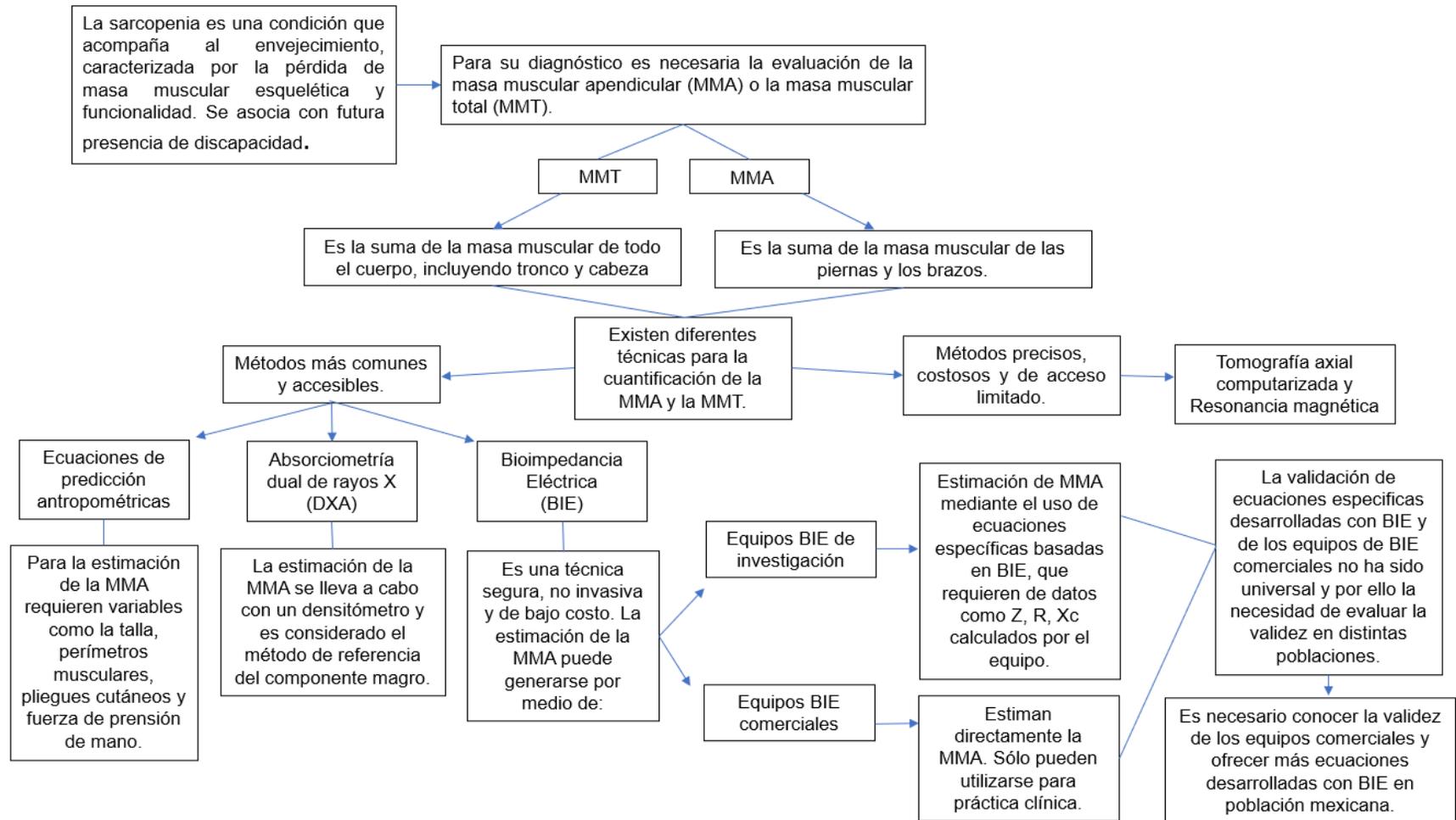


Figura 1. Diagrama de flujo de antecedentes. Abreviaturas: MMT, masa muscular total; MMA, masa muscular apendicular; DXA, densitometría dual de rayos x; BIE, bioimpedancia eléctrica; Z, bioimpedancia; R, resistencia; Xc, reactancia.

SARCOPENIA EN EL ADULTO MAYOR

La sarcopenia es una condición que acompaña al envejecimiento, caracterizada por la pérdida de masa muscular esquelética y funcionalidad, que se asocia con la futura presencia de discapacidad (Chalé et al., 2012). La sarcopenia presenta la disminución de tres aspectos asociados a la masa muscular: cantidad, fuerza y funcionalidad, lo que hace fundamental la medición o cuantificación de estos. En al algún caso, no se presenta una disminución de peso o del índice de masa corporal (IMC) debido a un incremento en la masa grasa (Osuna-Padilla, 2018). La sarcopenia es de etiología multifactorial. Algunos aspectos implicados son la edad, el género, el consumo insuficiente de energía y/o proteínas, el deterioro de síntesis de proteína muscular en respuesta a la ingesta de proteína alimentaria, la presencia de enfermedades crónicas que se acompañan de un proceso inflamatorio de bajo grado y el sedentarismo (Pennings et al., 2011).

Para realizar el diagnóstico de sarcopenia es necesaria la evaluación de la masa muscular apendicular (MMA) o la masa muscular total (MMT). Existen diferentes técnicas de valoración siendo las más precisas las radiológicas: resonancia magnética (RM) y tomografía axial computarizada (TAC) pero estas son muy costosas y difícilmente accesibles como prueba de tamizaje. Otras técnicas de valoración son la absorciometría dual de energía de rayos X (DXA), la excreción urinaria de creatinina, el análisis de bioimpedancia eléctrica (BIE) y la antropometría. Para el diagnóstico de baja masa muscular, los puntos de corte se han fijado como dos desviaciones estándar por debajo de la media de la población de referencia joven y sana (Canda, 2015).

La prevalencia de sarcopenia en adultos mayores varía dependiendo del criterio diagnóstico utilizado. En un estudio de 5,046 adultos de 60 años o más, basado en los resultados de la ENSANUT 2012, se estableció que en México hay una prevalencia de sarcopenia de un 13.30% (Espinel-Bermúdez et al., 2018). Mientras que, en el 2017 se reportó una prevalencia mundial de 10% en ambos sexos. Es decir, se estima que cerca de 50 millones de personas cursan con sarcopenia (Osuna-Padilla, 2018).

BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA

El análisis de BIE es una técnica segura, no invasiva y de bajo costo. La BIE Mide las propiedades bioeléctricas de los tejidos, lo que permite obtener datos acerca del estado funcional de ellos, relacionados con la hidratación o integridad de la membrana celular, que finalmente se traducen en estado nutricional de una persona (Quesada Leyva et al., 2016). La BIE también a través de ecuaciones, permite la estimación de la composición corporal como el agua corporal total (ACT), la masa libre de grasa (MLG), y masa grasa (MG) (Alvero-Cruz et al., 2011).

Para el análisis de BIE, el equipo introduce en el cuerpo una corriente eléctrica alterna de amperaje muy bajo e imperceptible. La impedancia (Z) está compuesta por dos vectores: resistencia (R) y reactancia (X_c); $Z^2 = R^2 + X_c^2$: donde la R , representa la resistencia u oposición de los tejidos al paso de una corriente eléctrica y es capaz de evaluar el estado de hidratación, así como el estado iónico de los tejidos. Así, se puede distinguir entre tejidos como el músculo, que contiene gran cantidad de agua (80%) y, tejidos como grasa y hueso que contienen poca (20%) (Abad et al., 2011). La X_c permite medir la habilidad de estos tejidos y membranas celulares para retrasar la corriente (capacitancia). En la X_c , las propiedades dieléctricas de los tejidos están asociadas a la acumulación temporal de cargas sobre las membranas celulares o sobre otras interfaces (Peláiz-Barranco et al., 2006).

CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA

La metodología en la BIE más utilizada es la tetrapolar, que consiste en equipos con 4 electrodos: dos a través de los cuales se introduce una corriente alterna (generada por el impedanciómetro) y otros dos que la detectan y permiten medir los valores de R , y X_c . También existen dispositivos con 8 electrodos (octopolares) o 12 electrodos (dodepolares) (Khalil et al., 2014).

Las mediciones de BIE pueden ser en posición ortostática (de pie) (**Figuras 2 y 3**) o en posición supina (**Figuras 4 y 5**). Otra variación entre los dispositivos es el tipo de medición que puede ser de cuerpo total o segmental. Los impedanciómetros segmentales realizan mediciones con electrodos mano-pie, normalmente con el

individuo en posición de bipedestación. Todo sujeto a las instrucciones de cada modelo de bioimpedanciómetro y del fabricante (Khalil et al., 2014).

La cantidad de frecuencias también varía, existen dispositivos de BIE con monofrecuencia, frecuencia dual, multifrecuencia y espectroscopia bioeléctrica.

Existen equipos que además de mostrar el resultado de su estimación, también muestra los datos de Z, R y Xc. De aquí deriva otra clasificación, la cual consiste en el uso que se le puede dar al dispositivo. Se clasifican en equipos para su uso en la práctica diaria por personal de salud (práctica clínica) o en equipos de investigación. Es decir, cuando el profesional de salud utiliza los resultados de Z, R y Xc, en caso de que el equipo los muestre, puede ser utilizado para investigación. Sin embargo, si el profesional de salud utiliza los resultados de estimación de la composición corporal que muestra el equipo, únicamente puede ser utilizado para práctica clínica.



Figura 2. Equipo de práctica clínica e investigación Inbody120®



Figura 3. Equipo de práctica clínica e investigación Tanita 418®



Figura 4. Equipo de práctica clínica e investigación RJL Quantum®



Figura 5. Equipo de práctica clínica e investigación Bodystat Quadscan 4000®

CÁLCULO DE LA MASA MUSCULAR

Existen tres tipos de tejido muscular: el músculo esquelético o estriado, el músculo liso o visceral y el músculo cardiaco. El músculo esquelético de un hombre adulto de 70 kg es aproximadamente de 28 kg, es decir, el 40% de su peso total; mientras que, en mujeres de 22 a 36 años, es aproximadamente de 29.6%. La distribución del tejido músculo esquelético de un adulto es del 25-30% en cabeza y tronco, 18-20% en las extremidades superiores y alrededor del 55% en las extremidades inferiores. Su composición es 68.9-80.3% agua, siendo el 18.3% agua extracelular. El 12.9-20% proteína, siendo 0.4-0.8% colágeno, 3.8-4.7% proteína sarcoplásmica y 12.3-12.7% proteína fibrilar. El 2.2-9.4% grasa (ICRP, 1975).

El tejido muscular total es la suma de la masa muscular de todo el cuerpo, incluyendo tronco y cabeza (Lee et al., 2018). El tejido muscular apendicular es la suma de la masa muscular de las piernas y los brazos. Tanto el tejido muscular total como el apendicular se pueden cuantificar con precisión con la tomografía axial computarizada y resonancia magnética, sin embargo, son métodos costosos y de acceso limitado (Kim et al., 2002).

Existen alternativas disponibles y económicas, con las que se pueden estimar la MMA y MMT. No obstante, el componente que se predice no es tejido, sino un componente magro de agua y proteína. Uno de estos métodos es a partir de ecuaciones de predicción antropométricas que requieren variables como la talla, perímetros musculares, pliegues cutáneos y fuerza de prensión de mano (Berral de la Rosa et al., 2010; Vieitez & Aguilera, 2001; Lera et al., 2014).

Otra opción para estimar el componente magro es con la BIE. En este caso, se emplean como predictores la impedancia, resistencia, reactancia o el índice de resistencia ($talla^2/resistencia$) (Caballero et al., 2015). Estos predictores obtenidos por medio de la medición de los equipos de BIE pueden llevar al cálculo del componente magro de dos maneras. Una de ellas es mediante el uso de ecuaciones específicas basadas en BIE que requieren de algunos de los predictores mencionados anteriormente. Las cuales se desarrollan de acuerdo a un equipo de BIE y población

específicos. Cabe destacar que no se pueden aplicar a poblaciones en las que no se hayan derivado, ya que una ecuación de BIE responde a las relaciones estadísticas encontradas con la población de referencia. La segunda, es debido a que algunos equipos comerciales de BIE estiman la MMA y MMT directamente, sin embargo, no suelen informar de las ecuaciones de cálculo que utilizan ni del error de estimación de esta predicción. Algunos de estos equipos son Tanita BC-418®, Tanita MC-980MA®, Inbody 270® e Inbody 570®.

Una alternativa más para la estimación de MMA y MMT es con la absorciometría dual de rayos X (DXA), la cual se lleva a cabo con un densitómetro (**Figura 6**), que también mide el componente magro a nivel molecular (Kim et al., 2002). Cabe notar que en la mayoría de los estudios clínicos de sarcopenia utilizan la medición de la masa muscular por DXA (Lera et al., 2014). El estudio de la composición corporal con DXA es el método de referencia del componente magro (muscular) para el desarrollo de ecuaciones antropométricas y de BIE para estimar MMT y MMA.

Como ya se mencionó anteriormente, el componente que se predice con las técnicas antropométricas, de bioimpedancia y con DXA no es tejido, sino un componente magro de agua y proteína, esto quiere decir que estrictamente es masa magra, sin embargo, en todos los estudios de la literatura actual, los autores se refieren a este componente como masa muscular, ya que es la forma más cercana de estimar la masa muscular, puesto que el uso de la resonancia magnética o la tomografía axial computarizada, que verdaderamente miden la masa muscular, quedan fuera del alcance de la mayoría de los investigadores. Por ello, más adelante hablaremos de la masa muscular estimada por equipos de BIE, fórmulas desarrolladas con equipos de BIE y DXA, haciendo referencia a la masa magra que cada uno de ellos estima.



Figura 6. Densitómetro óseo GE Lunar Prodigy (DXA)

COMPARACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DE LA MASA MUSCULAR POR MEDIO DE EQUIPOS COMERCIALES DE BIOIMPEDANCIA VS DXA

Existen diversos estudios en los que se comparan los resultados de algunos equipos comerciales de BIE con los estimados por DXA para conocer la confiabilidad y precisión de estos equipos. Lee et al. (2018) evaluaron la precisión de la estimación de MMT y MMA mediante BIE utilizando un InBody 770® y concluyeron que las estimaciones por el equipo BIE estaban altamente correlacionadas con las medidas por DXA; sin embargo, el equipo BIE sobreestimó la masa muscular. Buckinx et al. (2015) evaluaron la concordancia entre los resultados de MMA calculados por el InBody S10® y DXA para posteriormente obtener el índice MMA/talla². En este caso, el equipo BIE sobreestimó las mediciones de masa muscular. Mally et al. (2011) evaluaron un equipo de BIE segmental (BC-418-MA, Tanita®) en una muestra de adultos mayores. Los resultados de masa muscular obtenidos por el equipo BIE tendieron a ser subestimados en hombres y sobreestimados en mujeres en comparación con los resultados de DXA. En general, se requieren más estudios con diferentes equipos, pues cada población requiere una validación de su uso.

ECUACIONES ESPECÍFICAS BASADAS EN BIE PARA CALCULAR MMA

Como se mencionó anteriormente, existen ecuaciones desarrolladas por diversos autores, las cuales utilizan predictores de BIE para predecir la MMA. Para su validez, los resultados de dichas ecuaciones se comparan con los resultados obtenidos con DXA, que es considerado el método de referencia. Kyle et al. (2003) desarrollaron una

ecuación basada en BIE para estimar MMA con una muestra de hombres y mujeres adultos sanos. Sergi et al. (2015) validaron una ecuación basada en BIE para estimar MMA en adultos mayores caucásicos sanos. Rangel Peniche et al. (2015) generaron una ecuación basada en BIE para estimar MMA en adultos mayores no caucásicos. Yoshida et al. (2014) publicaron dos ecuaciones basadas en BIE para estimar la MMA en adultos mayores japoneses, una para hombres y otra para mujeres. Barbosa-Silva et al. (2019) validaron dos ecuaciones basadas en BIE para estimar MMA en adultos mayores sudamericanos, una ecuación elaborada para usarse con BIE-monofrecuencia y otra para BIE-multifrecuencia. Yamada et al. (2017) elaboraron un estudio para desarrollar y validar una ecuación basada en BIE, independiente de la edad para la estimación de MMA. Bosaeus et al. (2014) elaboraron un estudio para validar las ecuaciones de Tengvall et al. (2009) y Janssen et al. (2000) en una población de adultos mayores hospitalizados. Se encontró una sobreestimación de la masa muscular con la ecuación basada en BIE de Janssen et al. (2000), mientras que la ecuación basada en BIE de Tengvall et al. (2009) dio una estimación precisa, pero con una variación considerable. A pesar, de la existencia de diferentes fórmulas para estimar la MMA y MMT, la validación no ha sido universal ya que se han realizado con poblaciones específicas. Por lo tanto, se desconoce su exactitud en diferentes grupos étnicos, edad, género y estado de salud. Además, el uso de la fórmula está sujeto al equipo que originalmente se usó para desarrollarla.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para realizar el diagnóstico de sarcopenia es necesaria la evaluación de la MMA. Se han desarrollado ecuaciones específicas para la estimación de la masa muscular con el método de BIE siendo validadas en distintas poblaciones. Así, se ha probado la invalidez de unas propuestas y creando otras alternativas. De forma similar se han validado las estimaciones directas de MMA de equipos comerciales de BIE. En adultos mayores mexicanos solo hay un estudio donde se ha desarrollado una ecuación para un equipo de BIE específico de grado investigación, pero se carece de estudios que evalúen la confiabilidad de equipos comerciales. La validación de los equipos de BIE comerciales y de ecuaciones específicas no ha sido universal y por ello la necesidad de evaluar la validez en distintas poblaciones. Es necesario conocer la validez de los equipos comerciales para su uso en la práctica diaria y ofrecer más alternativas en forma de ecuaciones para su uso en investigación, especialmente en población mexicana.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

PREGUNTA GENERAL DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la validez de las ecuaciones desarrolladas y de los equipos de bioimpedancia eléctrica para predecir la masa muscular en adultos mayores mexicanos?

PREGUNTAS ESPECÍFICAS DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible validar una ecuación específica basada en el método de BIE para determinar la MMA en adultos mayores mexicanos?

¿Los equipos de BIE TANITA 418® e INBODY 120® son válidos y confiables para estimar la MMA en adultos mayores mexicanos?

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de fórmulas específicas para BIE exactas respecto a la DXA para el cálculo de la masa muscular permitirá su uso más generalizado en nuestra población en estudios de investigación. Al comparar los resultados de diversos equipos comerciales de BIE en una población específica, se verificará la validez de la estimación de la MMA para su uso en la práctica diaria por personal de salud. Esto permitirá facilitar la medición confiable y predicción de la masa muscular para evaluar el riesgo de sarcopenia en adultos mayores. Por lo tanto, los resultados del estudio incrementaran la confiabilidad del diagnóstico de sarcopenia. Con ello, se contribuye a que se tomen medidas pertinentes para frenar o revertir el deterioro de la masa muscular en sujetos en riesgo.

OBJETIVO GENERAL

Validar ecuaciones y equipos de bioimpedancia eléctrica para predecir la masa muscular en adultos mayores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollar dos ecuaciones específicas de predicción de MMA basadas en los equipos de BIE TANITA BC-418® y QUADSCAN 4000® y validarlas tomando como referencia el método de la DXA.
2. Validar las estimaciones de la MMA de los equipos comerciales de BIE TANITA BC-418® e Inbody 120® usando como referencia el método de la DXA.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para visualizar la metodología del estudio de una manera global y captar los pasos llevados a cabo en el desarrollo de la investigación, se anexó un resumen en forma de diagrama de flujo. (Figura 7).

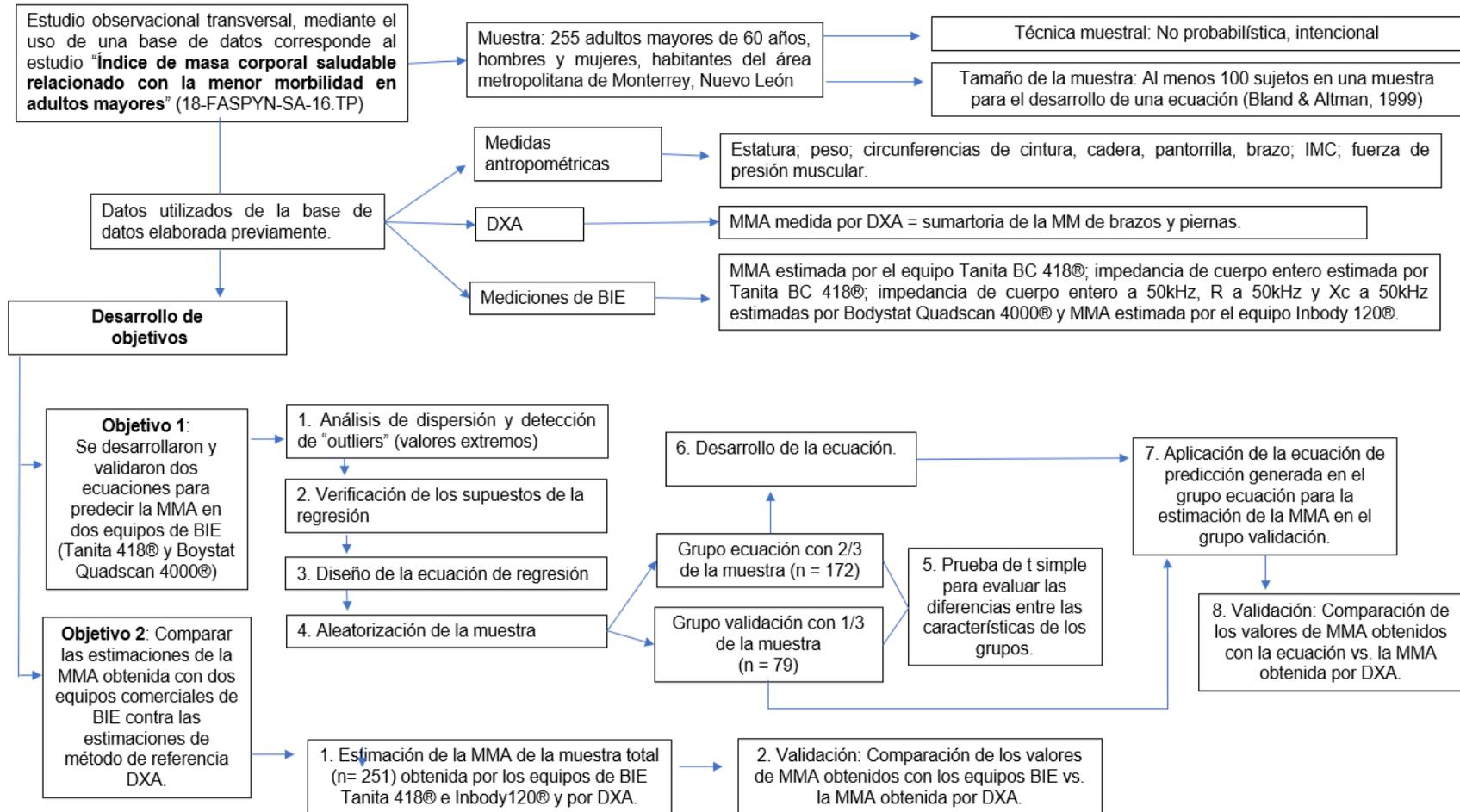


Figura 7. Diagrama de flujo de metodología.

Abreviaturas: IMC, índice de masa muscular; DXA, densitometría dual de rayos x; BIE, bioimpedancia eléctrica; MMA, masa muscular apendicular; n, número de sujetos; R, resistencia; Xc, reactancia.

Para este estudio se usará una base de datos del Laboratorio de Composición Corporal de adultos mayores de 60 años y más. La base de datos corresponde al estudio “Índice de masa corporal saludable relacionado con la menor morbilidad en adultos mayores” (18-FASPYN-SA-16.TP). El consentimiento informado y otras consideraciones éticas fueron planteadas previamente en el registro del protocolo mencionado. El estudio es observacional transversal e incluye 255 adultos mayores de 60 años, hombres y mujeres. El protocolo fue sometido al Comité de Ética y de Investigación de la Facultad de Salud Pública y Nutrición.

CONDICIONES DEMOGRÁFICAS

Todos los participantes eran adultos mayores de 60 años. Hombres y mujeres habitantes del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Se reclutaron a través de pancartas y redes sociales. Todos recibieron una explicación completa del uso de los datos para fines de investigación y firmaron su consentimiento informado.

TÉCNICA MUESTRAL

No probabilística, intencional.

TAMAÑO DE LA MUESTRA

Se recomiendan que sean al menos 100 sujetos en una muestra para el desarrollo de una ecuación (Bland & Altman, 1999). Para estudios de validación de equipos, se calculó la muestra considerando una media de las diferencias esperadas de 0.5 kg de MMA, ± 0.2 y una diferencia máxima permitida de 1.0 kg de MMA entre los dos métodos a comparar (**Figura 8**). El tamaño de muestra necesario fue de 86 sujetos.

Sample size: Bland-Altman plot

Type I and II error

Type I error (Alpha, Significance): 0.05

Type II error (Beta, 1-Power): 0.20

Input

Expected mean of differences: 0.5

Expected Standard Deviation of differences: 0.2

Maximum allowed difference between methods: 1.0

Results

Minimum required number of pairs: 86

		Type I Error - Alpha			
		0.20	0.10	0.05	0.01
Type II Error - Beta	0.20	65	73	86	123
	0.10	85	100	113	156
	0.05	107	122	137	186
	0.01	149	165	192	250

Calculate Exit

Figura 8. Cálculo de la muestra para estudio de validación de los equipos TANITA 418® e INBODY 120®.

Calculado mediante el software MedCalc, Versión 19.8.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se incluyeron para el análisis a 255 sujetos de 60 años o más (101 hombres y 154 mujeres). No presentaron discapacidad física o deterioro mental evidente y fueron considerados aparentemente saludables. Todos firmaron su consentimiento informado y asistieron a las citas para la toma completa de mediciones.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

No se incluyeron a los sujetos con presencia de prótesis metálicas o dispositivos electrónicos implantados, deformidades anatómicas (como amputaciones). Tampoco se incluyeron aquellos en silla de ruedas o con problemas para la ambulación, lenguaje o audición y quienes presentaran edema clínicamente relevante.

CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

Se eliminaron los sujetos que presentaron alguna enfermedad reciente que haya afectado su composición corporal, como la pérdida de peso aguda en los últimos 3 meses o el uso de medicamentos derivados del cortisol y diuréticos. Se hizo un análisis para detectar “outliers” y se revisó si los valores detectados se debían a algún error de captura o que fueran implausibles biológicamente y se corrigieron o eliminaron de la base de datos.

MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

Las medidas antropométricas se realizaron con técnicas estandarizadas (Lohman, 1981). La estatura y el peso se midieron de pie y sin zapatos, utilizando para la estatura un estadiómetro (0 - 250 cm \pm 1.0 mm, SECA 274, Hamburgo, Alemania) y para el peso una balanza electrónica digital (0 - 200 kg \pm 0.01 kg, SECA 874, Hamburgo, Alemania). Los perímetros de cintura, cadera, pantorrilla, brazo y antebrazo se realizaron con una cinta metálica (0 – 2 m \pm 1mm; Lufkin, Crescent®). El índice de masa corporal (IMC) se calculó a partir de la fórmula peso/talla² (kg/m²). La fuerza de presión muscular se tomó con un dinamómetro de mano (0-50 lb, Lafayette MMT).

MEDICIÓN DE TEJIDO MAGRO SIN HUESO CON LA DXA

La medición del tejido magro se realizó en ayuno de al menos dos horas después de la última comida ligera o bebidas ingeridas. Se empleó un equipo de densitometría dual de rayos X (GE Lunar Prodigy Advance DXA Modelo 301264; Software enCore ver. 11.30.062) y las directrices del manual del fabricante. Los componentes de la composición corporal por regiones se determinaron siguiendo los puntos de referencia anatómicos recomendados. El tejido magro sin el tejido óseo en brazos y piernas se utilizó para obtener la MMA total (Heymsfield et al, 1990).

MEDICIONES DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA (BIE)

Se utilizaron distintos impedanciómetros monofrecuencia y multifrecuencia de medición en posición ortostática (Tanita BC-418® e InBody120®) y en posición supina (Bodystat Quadscan 4000®). El estudio se dividió en dos segmentos. El primero, enfocado en el desarrollo de ecuaciones basadas en BIE, utilizando equipos BIE de investigación y el

segundo, enfocado en la validez de los resultados de MMA estimados por los propios dispositivos, por lo que, se consideraron equipos comerciales.

Equipos de investigación

Tanita BC 418®

La Tanita BC-418 es un equipo monofrecuencia (50 kHz), segmental, de 8 electrodos. Las mediciones se realizaron de acuerdo con el manual que proporciona el fabricante del equipo (Tanita Corporation, 2021). Estas mediciones se realizaron antes de las evaluaciones con el equipo DXA. Se consideró el promedio de dos mediciones para el análisis. El sujeto estuvo en condiciones de temperatura y humedad controladas, en reposo de al menos quince minutos y tras micción previa, descalzo, en ropa ligera (bata) y con brazos separados del tórax (**Figura 9**).

Este equipo tiene la funcionalidad, tanto de investigación, como comercial, ya que proporciona el resultado de su estimación de la composición corporal y muestra los datos de Z. Para la primera parte del estudio, una de las ecuaciones fue desarrollada con este equipo. Para ello se obtuvo la impedancia de cuerpo entero (Z).



Figura 9. Medición en Tanita BC 418®

Bodystat Quadscan 4000®

El Bodystat Quadscan 4000, BODYSTAT® multifrecuencia (5, 50, 100 y 200kHz), de 4 electrodos. Es un impedanciómetro de posición supina, por lo que las mediciones se llevaron a cabo con el sujeto acostado en decúbito supino sobre una cama plana no conductora. Se colocaron dos electrodos en la muñeca derecha, uno de ellos proximal a la tercera articulación metacarpofalángica (positivo) y el otro en la muñeca junto a la cabeza cubital (negativo). Se colocaron dos electrodos en el tobillo derecho, uno de ellos proximal a la tercera articulación metatarsofalángica (positivo) y el otro entre los maléolos medial y lateral (negativo) (**Figura 10**). Las mediciones se realizaron de acuerdo al manual que proporciona el fabricante del equipo (Bodystat Ltd., 2020). Se consideró el promedio de dos mediciones para el análisis. Se midió la masa magra, la impedancia de cuerpo entero a 50kHz, la R a 50kHz y la Xc a 50kHz.



Figura 10. Medición en Bodystat Quadscan 4000®

Equipos comerciales:

InBody 120®

El Inbody 120® es un equipo multifrecuencia (20 y 100kHz), segmental, de 4 electrodos. Las mediciones se realizaron de acuerdo al manual que proporciona el fabricante del equipo (**Figura 11**). (InBody Co., 2018). Se consideró el promedio de dos mediciones para el análisis. Las mediciones se realizaron siguiendo el mismo protocolo que en el equipo 418. Con este equipo se estimó la masa magra segmental. La MMA se obtuvo al sumar la masa magra de brazos y piernas.



Figura 11. Medición en InBody 120®

Tanita BC 418®

Para la segunda parte del estudio, nuevamente se consideró el uso de este dispositivo, ya que como se mencionó anteriormente, tiene doble funcionalidad (clínica y de investigación). En esta parte del estudio, se estimó la masa magra segmental (estimada por el equipo) y la MMA se obtuvo al sumar la masa magra prevista de brazos y piernas **(Figura 8)**.

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES ESPECIFICAS PARA PREDECIR LA MMA EN EQUIPOS DE BIE

Se desarrollaron dos ecuaciones para predecir la MMA en dos equipos de BIE (Tanita 418® y Boystat Quadscan 4000®). Los procedimientos para el desarrollo y validación de las ecuaciones se describen a continuación.

Análisis de dispersión y detección de “outliers” (valores extremos)

Para evaluar la calidad de los datos se realizó un análisis de dispersión en excel,

graficando la variable independiente (MMA) y las variables dependientes; esto con el objetivo de detectar valores anormales. Posteriormente, cada una de las variables se comprobó por la presencia de “outliers” (valores extremos) utilizando el método de Tukey.

Verificación de los supuestos de la regresión

Se realizó una correlación entre las variables independientes y la variable dependiente. Se analizó la linealidad de cada variable en relación a la variable dependiente mediante una gráfica de regresión simple y la prueba de F ($p < 0.05$). El diagnóstico individual de los supuestos de linealidad se realizó verificando la homogeneidad de la varianza y normalidad. La normalidad de los residuales se analizó mediante una gráfica de probabilidad de los residuales y un histograma de normalidad (Shapiro-Wilk: $p > 0.05$).

Diseño de la ecuación de regresión

La muestra total (251 sujetos) se dividió aleatoriamente en dos grupos (grupo ecuación con 2/3 de la muestra y grupo validación con 1/3 de la muestra). El grupo ecuación fue utilizado para desarrollar el modelo de predicción de la MMA basado en BIE para los equipos Tanita 418® y Bodystat Quadscan 4000®. ($n = 172$). El grupo validación fue utilizado para probar la validez de las ecuaciones generadas ($n = 79$).

Fueron analizadas las características como la edad (años); peso corporal (kg); estatura (cm); índice de masa corporal (kg/m^2); dinamometría máxima (kg); masa muscular estimada por DXA (kg); impedancia (Ω) e índice de impedancia (cm^2/Ω) estimados por equipo Tanita BC-418®; índice de reactancia (cm^2/Ω) e índice de resistencia (cm^2/Ω) estimados con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000®. Las diferencias entre el grupo ecuación y el grupo validación se evaluaron con una prueba de t simple. Un valor de $p > 0.05$ indica que no hay diferencias significativas entre los grupos.

Selección de las variables y obtención del modelo de regresión

La elección del mejor modelo de predicción de la MMA para las ecuaciones de ambos equipos se realizó por el método de regresión escalonada (step-wise). La MMA por DXA fue la variable dependiente. Las variables independientes predictivas propuestas para la ecuación de Tanita-BC 418® fueron sexo (hombre = 1, mujer = 0), peso

corporal (kg), talla al cuadrado (cm), la edad (años), el IMC (kg/m²), estatura (cm) e índice de impedancia (cm²/Ω). Para la ecuación de BOYSTAT QUADSCAN 4000® las variables independientes predictivas propuestas fueron sexo (hombre = 1, mujer = 0), peso corporal (kg), talla al cuadrado (cm), la edad (años), el IMC (kg/m²), estatura (cm), índice de resistencia (cm²/Ω) e índice de reactancia (cm²/Ω). Posteriormente, las mejores variables de predicción de la MMA se sometieron a un análisis de regresión múltiple para obtener el modelo final.

Diagnóstico del modelo de regresión

Se realizó el diagnóstico del modelo para descartar la presencia de colinealidad, es decir, la correlación entre las variables independientes. Para esto, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: número de acondicionamiento (NA<100), el cual es una medida de multicolinealidad. Cuando el valor de NA es mayor de 100 indica colinealidad. El factor de inflación de la varianza (FIV<10) también es una medida de multicolinealidad. Cuando el valor de FIV es 10 o mayor indica colinealidad (Johnson et al., 1999).

Comprobación de los supuestos de la regresión del modelo final

La homogeneidad de la varianza de la variable dependiente en el modelo se verificó mediante la distribución de los residuales. Se verificó la presencia de una nube de puntos o una banda horizontal. Un patrón de cuña (triángulo) o moño es un indicador de la varianza no constante; la violación de un supuesto de regresión. Una banda inclinada o curvada significa especificación inadecuada del modelo. Una banda inclinada con el aumento o la disminución de la variabilidad sugiere varianza no constante y la especificación inadecuada del modelo. La normalidad de los residuales se probó mediante una gráfica de probabilidad de los residuos y un histograma de normalidad y además de la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$).

Validación de las ecuaciones de regresión

La validación cruzada permite dar la validez externa de la ecuación para su uso en futuros estudios. La ecuación de predicción generada en el grupo ecuación se aplicó para generar los valores de estimación de la MMA en el grupo validación. Para este

proceso se utilizó el procedimiento de Bland & Altman (Bland & Altman, 1999). La exactitud grupal de las estimaciones de la MMA por la ecuación respecto a la MMA obtenida por DXA se probó mediante la hipótesis de que la media de las diferencias es igual a cero. Si una ecuación tiene sesgo o no es exacta el valor de p será significativo ($p < 0.05$). La precisión de una ecuación se verifica con límites de concordancia al 95% que representan las diferencias a $+2$ DE a partir de la media de las diferencias (sesgo). Una línea de regresión sobre las diferencias muestra si hay tendencia a subestimar o sobreestimar la predicción de los resultados de la ecuación respecto al DXA a lo largo de todo el rango de valores de la MMA. El valor de la pendiente de la línea de regresión debe tener una $p > 0.05$ para no representar tendencias en la estimación de la MMA. Todos los procedimientos se realizaron con el software estadístico MedCalc, Versión 19.8 (© 2021 MedCalc Software Ltd)

COMPARACIÓN DE LA MMA DE LOS EQUIPOS COMERCIALES DE BIE VS. DXA

Para comparar los resultados de los equipos de BIE Tanita 418® e Inbody 120® se realizó un proceso de validación con el mismo procedimiento señalado para el proceso de validación de las ecuaciones (descrito arriba).

Consideraciones éticas y de bioseguridad

El presente trabajo de investigación se realizó respetando las consideraciones de ética y seguridad de acuerdo con las disposiciones del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud (Secretaría de Salud [SSA], 1987) y fue evaluado por el Comité de ética de la Facultad de Salud Pública y Nutrición.

Conforme a lo establecido en el artículo 16 de la Ley General de Salud, se protegió la privacidad de individuo, identificado al paciente solo cuando los resultados lo requieran. Este estudio contó con un consentimiento informado verbal y escrito, el cual fue firmado de forma libre. La participación en este estudio fue voluntaria. Se informó a los pacientes la finalidad del estudio y cuál sería su participación. En caso de estar de acuerdo las participantes firmaban una hoja de consentimiento informado (**Anexo 1**).

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable (índice/Indicador)	Tipo	Definición conceptual	Escala de medición	Unidad de medida	Calificación	Equipo de medición
Masa muscular apendicular	Dependiente	La suma de la masa magra de las piernas y los brazos.	Continua	kg	De 0 a 30 kg	DEXA, Tanita 418®, Inbody120®
Peso corporal	Independiente	Kilogramos de masa corporal total.	Continua	kg	De 0 a 100 kg	Báscula digital.
Estatura	Independiente	Máxima talla vertical medida desde la planta de los pies hasta el vertex.	Continua	cm	De 0 a 185 cm	Estadiómetro digital.
Circunferencia de cintura	Independiente	Circunferencia medida a nivel de la línea media axilar, en el punto medio entre el reborde costal y la cresta iliaca.	Continua	cm	De 0 a 140 cm	Cinta antropométrica.
Circunferencia de cadera	Independiente	Circunferencia medida en la máxima protrusión de los glúteos a nivel del trocánter mayor del fémur a cada lado.	Continua	cm	De 0 a 145 cm	Cinta antropométrica.
Sexo	Independiente	Características fenotípicas	Nominal	F = 0 M = 1	Femenino Masculino	Cuestionario
Edad	Independiente	Tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.	Discreta	años	≥ 60	Cuestionario
Índice de masa corporal	Independiente	Relación entre el peso, expresado en kilos y la estatura al cuadrado, expresada en metros.	Continua	kg/m ²	18-50	Báscula digital y estadiómetro digital.
Índice de impedancia	Independiente	Relación entre la impedancia y la talla.	Continua	cm ² /Ω	0-65	Tanita 418®
Índice de resistencia	Independiente	Relación entre la resistencia y la talla.	Continua	cm ² /Ω	0-75	Bodystat Quadscan 4000®
Índice de reactancia	Independiente	Relación entre la reactancia y la talla.	Continua	cm ² /Ω	0-1047	Bodystat Quadscan 4000®
Fuerza de prensión (dinamometría)	Independiente	Fuerza máxima muscular de las extremidades superiores	Continua	kg	0-60	Dinamómetro

RESULTADOS:

DetECCIÓN DE “OUTLIERS” (VALORES EXTREMOS)

Al inicio se evaluaron 255 sujetos. Con los valores reportados por la prueba de detección de “outliers” (Tukey: valores extremos) se encontraron los siguientes resultados implausibles: dos valores extremos en la variable magro del brazo izquierdo del equipo DXA; un valor extremo en magro del brazo derecho del equipo DXA; un valor extremo en la variable magro de la pierna derecha del equipo DXA; tres valores extremos en la variable de impedancia (Z) del equipo Tanita 418®; un valor extremo en la variable magro de la pierna izquierda del equipo Inbody 120®. Se revisó, si los valores detectados se debían a algún error de captura o que fueran implausibles biológicamente y se corrigieron o eliminaron de la base de datos, siendo eliminados 4 sujetos.

Finalmente, se incluyeron en el estudio 251 sujetos de 60 años o más, hombres y mujeres. Las características generales de los sujetos se presentan en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Datos descriptivos (media \pm desviación estándar) de las características generales de la muestra.

	Femenino n= 153				Masculino n= 98			
	Mínimo	Máximo	Media	DE	Mínimo	Máximo	Media	DE
Estatura, cm	136.0	169.0	153.1	6.4	149.7	181.0	166.9	6.4
Peso, kg	43.3	98.4	67.4	11.8	50.1	98.5	75.2	10.0
Edad, años	59.7	90.5	69.1	6.5	60.2	83.1	69.2	6.0
IMC. kg/m ²	19.1	46.1	28.7	4.8	18.0	35.0	26.9	3.1
MMA 418, kg	12.1	22.2	16.3	1.9	16.2	29.9	22.2	2.8
MMA IBD, kg	7.9	20.7	14.3	2.4	13.3	27.8	20.8	3.0
MMA DXA, kg	9.3	22.6	14.6	2.2	14.6	29.5	21.6	2.8
T ² /Z 418, cm ² /Ω	24.6	51.6	35.8	4.6	33.1	63.6	49.8	6.4
T ² /Xc BS, cm ² /Ω	316.5	1046.3	480.0	101.0	406.5	999.3	598.5	110.8
T ² /R BS, cm ² /Ω	25.6	59.5	39.9	5.7	39.4	74.2	56.6	7.3
Dina máx, kg	9.4	33.8	21.8	5.0	18.9	53.5	36.6	7.3
P. Cintura, cm	72.7	137.6	98.8	11.2	73.9	119.8	100.1	8.1
P. Cadera, cm	85.2	142.9	105.7	10.1	83.2	116.1	99.0	5.9

Abreviaturas: n, número de sujetos; IMC, Índice de Masa Corporal; MMA 418, Masa Muscular Apendicular estimada por equipo TANITA BC-418; MMA IBD, Masa Muscular Apendicular estimada por equipo InBody 120; MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; T²/Z 418, índice de impedancia estimado con equipo TANITA BC-418; T²/Xc BS, índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; T²/R BS, índice de resistencia; Dina máx, Dinamometría máxima; P, perímetro.

Verificación de los supuestos de la linealidad entre las variables independientes y la variable dependiente

Como control de calidad, se tiene que verificar la relación lineal entre las variables independientes y la dependiente. Para ello se verificó primero la correlación en una matriz (**Tabla 3**). Todas las variables excepto el IMC mostraron una correlación significativa respecto a la variable dependiente.

Tabla 3. Matriz de correlación entre la variable dependiente y las variables independientes del estudio.

	MMA DXA	Estatura	Peso	MMA 418	Edad	Dina máx.	MMA IBD	IMC	T ² /Z 418	T ² /R BS	T ² /Xc BS
MMA DXA, kg		0.82*	0.65*	0.93*	-0.13*	0.80*	0.95*	0.09	0.92*	0.94*	0.56*
Estatura, cm	0.82*		0.46*	0.79*	-0.19*	0.73*	0.88*	-0.24*	0.80*	0.76*	0.53*
Peso, kg	0.65*	0.46*		0.75*	-0.22*	0.40*	0.69*	0.74*	0.61*	0.61*	0.36*
MMA 418, kg	0.93*	0.79*	0.75*		-0.12	0.74*	0.95*	0.21*	0.95*	0.95*	0.62*
Edad, años	-0.13*	-0.19*	-0.22*	-0.12		-0.17*	-0.14*	-0.10	0.00	0.00	0.26*
Dina máx., kg	0.80*	0.73*	0.40*	0.74*	-0.17*		0.78*	-0.11*	0.72*	0.73*	0.31*
MMA IBD, kg	0.95*	0.88*	0.69*	0.95*	-0.14*	0.78*		0.07	0.93*	0.94*	0.56*
IMC, kg/m ²	0.09	-0.24*	0.74*	0.21*	-0.10	-0.11*	0.07		0.07	0.09	-0.00
T ² /Z 418, cm ² /Ω	0.92*	0.79*	0.61*	0.95*	0.00	0.72*	0.93*	0.07		0.97*	0.71*
T ² /R BS, cm ² /Ω	0.94*	0.76*	0.61*	0.95*	0.00	0.73*	0.94*	0.09	0.97*		0.71*
T ² /Xc BS, cm ² /Ω	0.56*	0.53*	0.36*	0.62*	0.26*	0.31*	0.56*	-0.00	0.71*	0.71*	

Abreviaturas: *P < 0.05; MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; MMA 418, Masa Muscular Apendicular estimada por equipo TANITA BC-418; Dina máx, Dinamometría máxima; MMA IBD, Masa Muscular Apendicular estimada por equipo InBody 120; IMC, Índice de Masa Corporal; T²/Z 418, índice de impedancia estimando con equipo TANITA BC-418; T²/Xc BS, índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; T²/R BS, índice de resistencia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000.

También se verificaron algunos supuestos de regresión de las variables independientes con la variable dependiente (**Tabla 4**). Todas las variables excepto el IMC mostraron un coeficiente de determinación con una pendiente significativa. Esto significa una fuerte linealidad entre las variables independientes y la dependiente. Sin embargo, la edad, aunque mostró una pendiente significativa tuvo un pobre coeficiente de determinación ($R^2=0.02$). En cuanto a la normalidad, cumplieron con este criterio la talla, el índice de resistencia, el índice de reactancia y el índice de impedancia. Para las otras variables como peso, edad, IMC y dinamometría máxima se verificó visualmente su distribución en el histograma y su potencial efecto en la selección de variables para la ecuación.

Tabla 4. Verificación de los supuestos de la regresión lineal entre las variables independientes y la dependiente.

Variable dependiente	Variables Independientes								
	Supuesto	Peso (kg)	Edad (años)	Talla (cm)	IMC (kg/m ²)	Dina máx. (kg)	T ² /R BS (cm ² /Ω)	T ² /Xc BS (cm ² /Ω)	T ² /Z 418 (cm ² /Ω)
MMA DXA (kg)	R ²	0.42	0.02	0.67	0.01	0.65	0.88	0.31	0.85
	Pendiente	<0.001	0.013	<0.001	0.085	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Varianza	<0.001	0.013	<0.001	0.085	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Normalidad residual	P<0.001	P<0.001	P=0.966	P<0.001	P<0.001	P=0.816	P=0.163	P=0.929

Abreviaturas: MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; IMC, Índice de Masa Corporal; T²/Z 418, índice de impedancia estimado con equipo TANITA BC-418; T²/Xc BS, índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; T²/R BS, índice de resistencia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; Dina máx, Dinamometría máxima.

Diseño de la ecuación

Después de la aleatorización del grupo total, el grupo ecuación y el grupo validación fueron comparados en sus características generales para verificar que fueran similares estadísticamente (**Tabla 5**). Ninguna de las variables resultó estadísticamente diferente entre un grupo y el otro ($p > 0.05$).

Tabla 5. Comparación de las características de los grupos empleados para el desarrollo de la ecuación y la validación.

Variables	GRUPO ECUACIÓN		GRUPO VALIDACIÓN		Diferencia	p**
	Media	DE	Media	DE		
Edad, años	69.4	6.2	68.8	6.6	-0.51	0.48
Estatura, cm	158.0	9.1	157.9	9.4	-0.10	0.92
Peso, kg	70.3	11.6	69.8	12.3	-0.53	0.69
IMC, kg/m ²	28.2	4.3	28.0	4.7	-0.18	0.72
Dina máx., kg	26.9	9.1	27.4	9.7	0.44	0.68
MMA DXA, kg	17.1	4.1	17.1	4.1	0.036	0.94
Z 418, Ω	620.5	87.6	624.0	82.4	3.51	0.77
T ² /Z 418, cm ² / Ω	41.7	8.8	41.4	8.8	-0.34	0.78
T ² /R BS, cm ² / Ω	46.7	10.6	45.9	9.8	-0.82	0.56
T ² /Xc BS, cm ² / Ω	533.8	119.1	509.8	120.3	-23.99	0.14

Abreviaturas: n, número de sujetos; DE, desviación estándar; IMC, Índice de Masa Corporal; Dina máx, Dinamometría máxima; MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; Z 418, impedancia estimada por equipo TANITA BC-418; T²/Z 418, índice de impedancia estimado con equipo TANITA BC-418; T²/Xc BS, índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; T²/R BS, índice de resistencia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; **Prueba de t simple.

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN ESPECIFICA PARA EL EQUIPO BODYSTAT®

Selección de las variables para el modelo de regresión

Para el desarrollo de la ecuación con el equipo BODYSTAT® la elección del mejor modelo de predicción de la MMA se realizó mediante el método de regresión escalonada (step-wise) en el grupo ecuación. Las mejores variables para la predicción de la MMA de acuerdo a este método fueron: sexo (femenino = 0 y masculino = 1), peso (kg), talla al cuadrado (cm²), índice de resistencia (T²/R BS) e índice de reactancia (T²/Xc BS). Se observa que las dos variables que más aportan a la explicación de la variabilidad de la MMA fueron el índice de resistencia (T²/R BS) y el sexo.

Tabla 6. Selección de las variables para la predicción de la MMA con el equipo BODYSTAT®

Decisión	Variable	Valor de p	Valor de R ² ***
Sí	Sexo, 0-1	0.000	0.766
Sí	Peso, kg	0.000	0.592
Sí	T ² , cm	0.000	0.613
Sí	T ² /R BS cm ² /Ω	0.000	0.886
Sí	T ² /Xc BS, cm ² /Ω	0.000	0.565
No	Edad, años	0.680	0.254
No	Estatura, cm	0.286	0.999
No	IMC, kg/m ²	0.092	0.989

Abreviaturas: T², talla al cuadrado; T²/R BS, índice de resistencia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; T²/Xc BS, índice de reactancia estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; IMC, índice de masa corporal.

***Método de regresión escalonada (stepwise). Se muestra el valor de R² de cada variable independiente con la variable dependiente

Obtención del modelo de regresión para la ecuación BODYSTAT®

Las variables seleccionadas por el método de regresión escalonada se sometieron al método de regresión múltiple para producir la ecuación final para el equipo BODYSTAT®. La ecuación final incluyó las variables: índice de resistencia (T²/R BS), sexo (mujeres=0, hombres=1) y peso (kg) (Tabla 7).

Tabla 7.- Desarrollo de la ecuación de la MMA con el equipo BODYSTAT®

Variable	Coefficiente de regresión	Valor de p	Decisión
T ² /R BS, cm ² /Ω	0.222	< 0.05	Sí
Sexo, 0-1	3.141	< 0.05	Sí
Peso. kg	0.064	< 0.05	Sí

Abreviaturas: T²/R BS: índice de resistencia (talla cm/Resistencia ohms) estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; sexo, mujeres = 0, hombres = 1; peso: kg. Método regresión múltiple.

Ecuación final

El modelo final de la ecuación se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Ecuación de regresión para el modelo BODYSTAT®

Modelo		R ²	EEE
Ecuación	$1.136 + (0.222 * T^2 / R \text{ BS}) + (3.141 * \text{Sexo}) + (0.064 * \text{Peso})$	0.92	1.21

Abreviaturas: EEE, error estándar del estimador. Las variables: T²/R BS: índice de resistencia (talla cm/Resistencia ohms) estimado con equipo BODYSTAT QUADSCAN 4000; sexo, mujeres = 0, hombres = 1; peso: kg.

Diagnóstico de la ecuación final

Multicolinealidad

La ecuación final no mostró multicolinealidad; se consideró el factor de inflación de la varianza (<10) y el número de acondicionamiento que fue <100 (**Tabla 9**). No se observó asociación entre las variables independientes.

Tabla 9.- Diagnóstico de la ecuación BODYSTAT®

Modelo	FIV	NA
Ecuación	5.49	20.25

Abreviaturas: FIV, Factor de inflación de la varianza; NA, número de acondicionamiento.

Comprobación de los supuestos de la regresión de la ecuación final

La homogeneidad de la varianza de la variable dependiente se observó mediante la gráfica de distribución de los residuales que mostró una distribución homogénea (nube de puntos; **Figura 12**). La normalidad de los residuales se probó mediante un histograma y una gráfica de normalidad de los residuales y mediante la prueba de Shapiro Wilk ($p = 0.23$). La distribución de los residuales fue normal (**Figuras 13 y 14**)

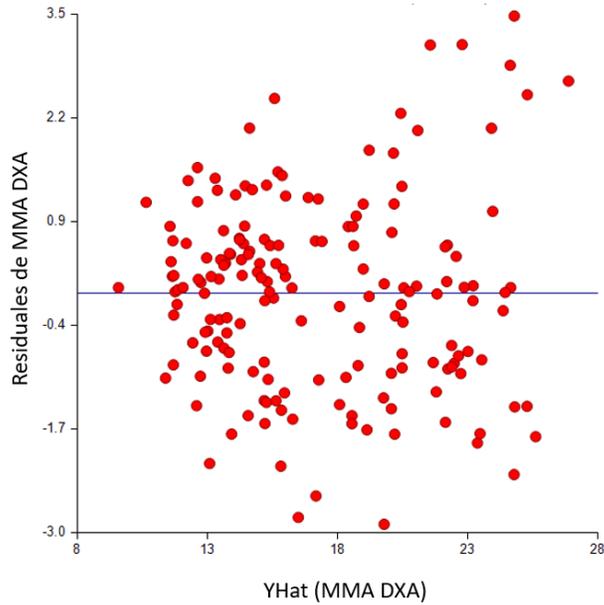


Figura 12.- Gráfica de Homogeneidad de la varianza de la ecuación BODYSTAT®. El patrón que se desea encontrar es una nube de puntos o una banda horizontal. Un patrón de cuña es un indicador de una varianza no constante, una violación a los supuestos de la regresión. La banda inclinada o curva significa una especificación inadecuada del modelo. La banda inclinada con aumento o la disminución de la variabilidad sugiere una varianza no constante y una especificación inadecuada del modelo.

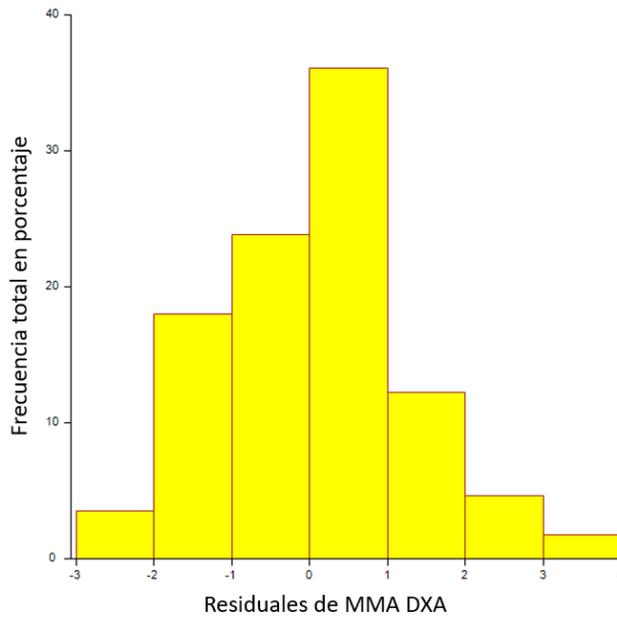


Figura 13.- Histograma de normalidad de los residuales de la ecuación BODYSTAT®

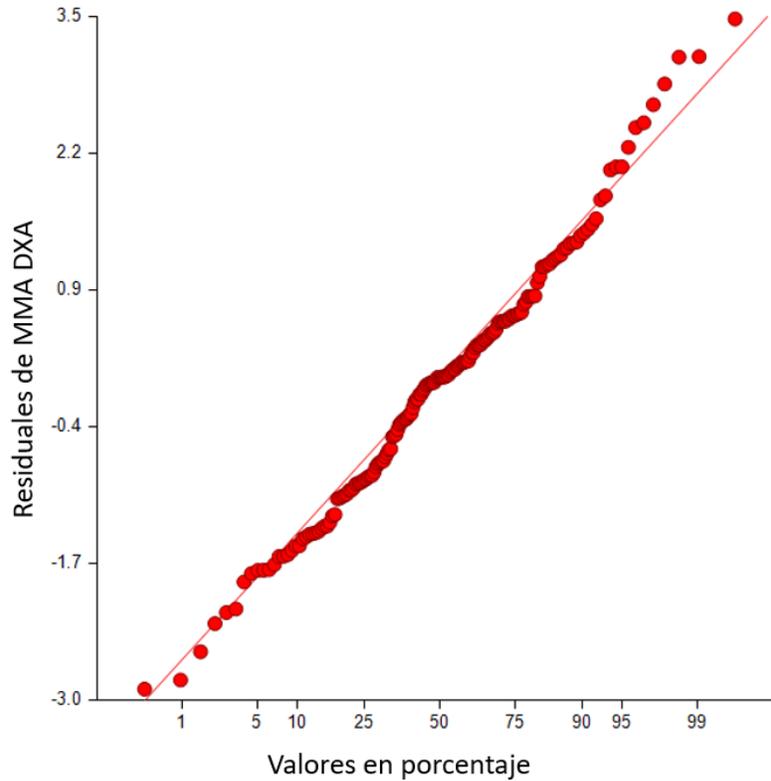


Figura 14.- Gráfica de Normalidad de los residuales de la ecuación BODYSTAT®.

Validación de la ecuación final con el equipo BODYSTAT®

La predicción de la MMA generada por la nueva ecuación y con la MMA medida con DXA, se muestra en la Tabla 10. Para este punto no se empleó análisis estadístico pues se realiza comparando la media de las diferencias (más adelante).

Tabla 10.- Masa apendicular muscular estimada por la ecuación BODYSTAT® y por el método de referencia

Método	Mujeres n = 51		Hombres n = 28		Todos n = 79	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
MMA DXA	14.70	2.11	21.49	2.95	17.12	4.07
MMA ECBS	10.96	4.63	18.14	5.63	13.51	6.06

Abreviaturas: MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; MMA ECBS, Masa Muscular Apendicular estimada por la ecuación desarrollada con el equipo BODYSTAT®; DE, desviación estándar.

Para la validación, la exactitud grupal de la estimación de la MMA por la ecuación respecto a la MMA obtenida por DXA se probó mediante la hipótesis de que la media de las diferencias entre los dos métodos es igual a cero (**Tabla 11, Figura 15**). La ecuación no mostró sesgo ($p = 0.086$). La precisión de la ecuación se verificó con los límites de concordancia (**Figura 15**). Los límites de concordancia en el 95% de los casos fueron de -2.3 a +2.8 kg de MMA. La línea de regresión sobre las diferencias mostró que no hay tendencia a subestimar o sobreestimar la predicción de los resultados ($p = 0.91$).

Tabla 11.- Datos de concordancia y validación de la ecuación para el equipo BODYSTAT®

Parámetro	Valor
Media de las diferencias (sesgo, kg)	0.251
Intervalo de confianza 95%	-0.03622 a 0.5395
p* (H0: Media=0)	0.0857
Límite inferior de concordancia, kg	-2.2674
Límite superior de concordancia, kg	2.7708
Pendiente (valor de p**)	0.9081

Nota: p*= prueba de hipótesis de que las medias de las diferencias es cero
p** valor de significancia

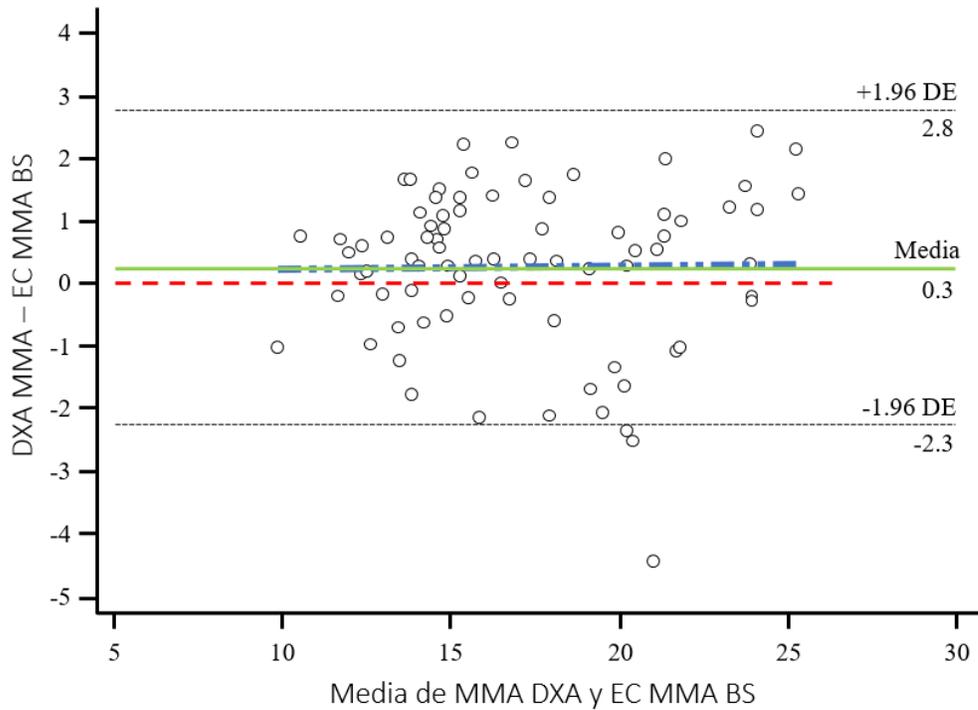


Figura 15. Gráfica de Bland & Altman de ecuación BODYSTAT®.
 Se muestra la media de las diferencias como línea discontinua. La línea de identidad o diferencias = 0 se muestra en rojo, la media de las diferencias en verde, los límites de concordancia en negro y la línea de regresión en azul.

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN ESPECIFICA PARA EL EQUIPO TANITA 418®

Selección de las variables para el modelo de regresión

Para el desarrollo de la ecuación con el equipo TANITA 418® la elección del mejor modelo de predicción de la MMA se realizó mediante el método de regresión escalonada (step-wise) en el grupo ecuación. Las mejores variables para la predicción de la MMA de acuerdo a este método fueron: sexo (femenino = 0 y masculino = 1), peso (kg), talla al cuadrado (cm²), índice de masa corporal (IMC) e índice de impedancia (T²/Z 418). Se observa que las dos variables que más aportan a la explicación de la variabilidad de la MMA fueron el peso y el IMC (**Tabla 12**).

Tabla 12. Selección de las variables para la predicción de la MMA con el equipo

TANITA 418®

Decisión	Variable	Valor de p	Valor de R ^{2***}
Sí	Sexo	0.000	0.734
Sí	Peso	0.000	0.991
Sí	T ²	0.140	0.982
Sí	IMC	0.007	0.989
Sí	T ² /Z 418	0.000	0.816
No	Edad	0.135	0.141
No	Estatura	0.313	0.999

Abreviaturas: T², talla al cuadrado; IMC, índice de masa corporal; T²/Z 418, índice de impedancia estimado con equipo TANITA 418.

***Método de regresión escalonada (stepwise). Se muestra el valor de R² de cada variable independiente con la variable dependiente

Obtención del modelo de regresión para la ecuación TANITA 418®

Las variables seleccionadas por el método de regresión escalonada se sometieron al método de regresión múltiple para producir la ecuación final para el equipo TANITA 418®. La ecuación final incluyó las variables: índice de impedancia (T²/Z 418), sexo (mujeres=0, hombres=1) y peso (kg) (**Tabla 13**).

Tabla 13.- Desarrollo de la ecuación de la MMA TANITA 418®

Variable	Coefficiente de regresión	Valor de p	Decisión
Sexo	3.637	0.00	Sí
Peso	0.080	0.00	Sí
T ² /Z 418	0.220	0.00	Sí

Abreviaturas: T²/Z 418: índice de impedancia (talla cm/impedancia ohms) estimado con equipo TANITA 418; sexo, mujeres = 0, hombres = 1; peso: kg. Método regresión múltiple.

Ecuación final

El modelo final de la ecuación se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14.- Análisis de regresión del modelo TANITA 418®

Modelo		R ²	EEE
Ecuación	$0.986 + (3.637 * \text{Sexo}) + (0.080 * \text{Peso}) + (0.220 * T^2/Z \text{ 418})$	0.91	1.28

Abreviaturas: EEE, error estándar del estimador. Las variables: T²/Z 418: índice de impedancia (talla cm/impedancia ohms) estimado con equipo TANITA 418; sexo, mujeres = 0, hombres = 1; peso

Diagnóstico de la ecuación final

Multicolinealidad

La ecuación final no mostró multicolinealidad; se consideró el factor de inflación de la varianza (<10) y el número de acondicionamiento que fue <100 (**Tabla 15**). No se observó asociación entre las variables independientes.

Tabla 15.- Diagnóstico de la ecuación TANITA 418®

Modelo	FIV	NA
Ecuación	4.90	17.98

Abreviaturas: FIV, Factor de inflación de la varianza; NA, número de acondicionamiento.

Comprobación de los supuestos de la regresión de la ecuación final

La homogeneidad de la varianza de la variable dependiente se observó mediante la gráfica de distribución de los residuales que mostró una distribución homogénea (nube de puntos; **Figura 16**). La normalidad de los residuales se probó mediante un histograma y una gráfica de normalidad de los residuales y mediante la prueba de Shapiro Wilk ($p = 0.73$). La distribución de los residuales fue normal (**Figuras 17 y 18**).

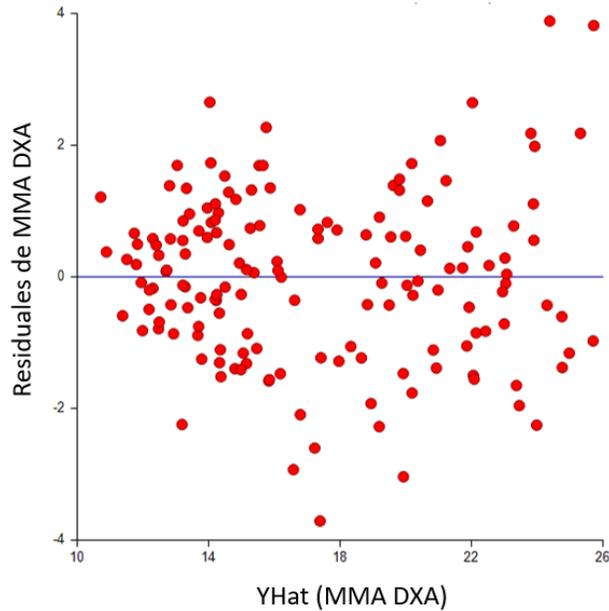


Figura 16.- Gráfica de Homogeneidad de la varianza de la ecuación TANITA 418®

El patrón que se desea encontrar es una nube de puntos o una banda horizontal. Un patrón de cuña es un indicador de una varianza no constante, una violación a los supuestos de la regresión. La banda inclinada o curva significa una especificación inadecuada del modelo. La banda inclinada con aumento o la disminución de la variabilidad sugiere una varianza no constante y una especificación inadecuada del modelo.

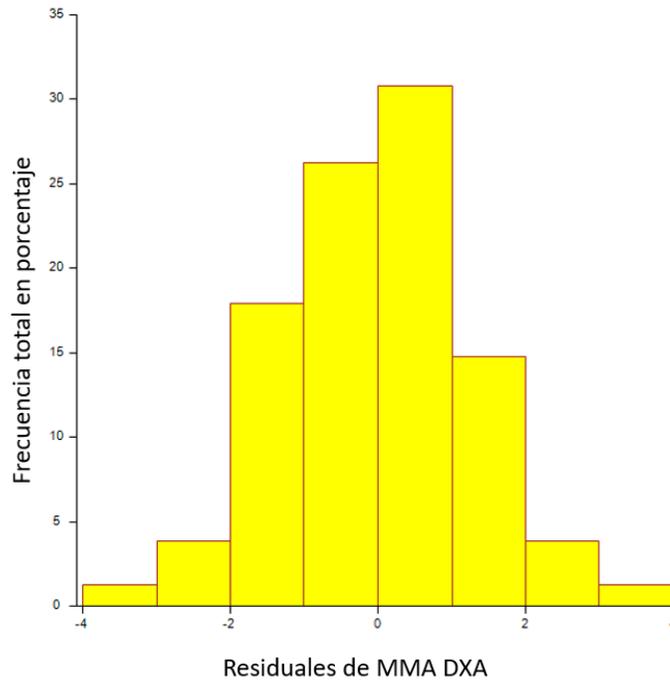


Figura 17. Histograma de normalidad de los residuales de la ecuación TANITA418®

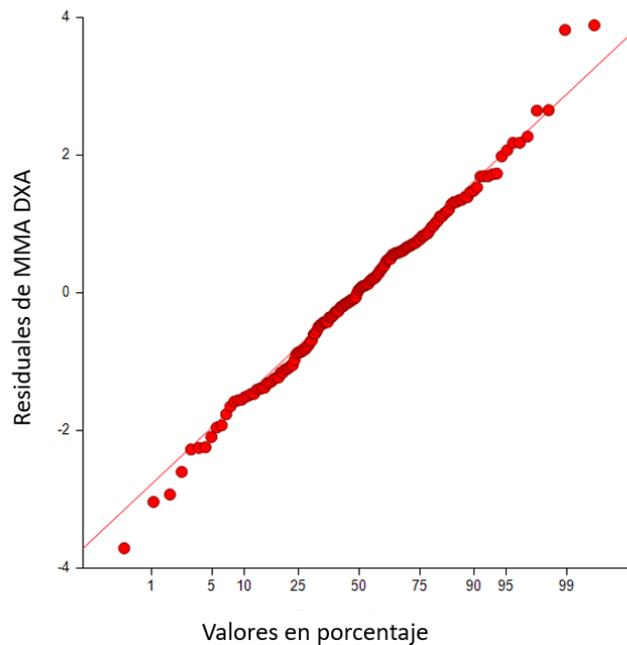


Figura 18.- Gráfica de Normalidad de los residuales de la ecuación TANITA 418®.

Validación de la ecuación final

La predicción de la MMA generada por la nueva ecuación y su comparación con la MMA medida con DXA, se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16.- Masa apendicular muscular estimada por la ecuación TANITA 418® y por el método de referencia

Método	Mujeres n = 51		Hombres n = 28		Todos n = 79	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
MMA DXA	14.70	2.11	21.49	2.95	17.12	4.07
MMA EC418	10.75	4.26	19.13	4.65	13.73	5.95

Abreviaturas: MMA DXA, Masa Muscular Apendicular estimada por absorciometría dual de rayos X; MMA EC418, Masa Muscular Apendicular estimada por la ecuación desarrollada con el equipo TANITA 418®; DE, desviación estándar.

Para la validación, la exactitud grupal de la estimación de la MMA por la ecuación respecto a la MMA obtenida por DXA se probó mediante la hipótesis de que la media de las diferencias es igual a cero (**Tabla 17, Figura 19**). La ecuación no mostró sesgo ($p = 0.874$). La precisión de la ecuación se verificó con los límites de concordancia (**Figura 19**). Los límites de concordancia en el 95% de los casos fueron de -2.6 a +2.7

kg de MMA. La línea de regresión sobre las diferencias mostró que no hay tendencia a subestimar o sobreestimar la predicción de los resultados ($p = 0.78$).

Tabla 17. Datos de concordancia y validación de la ecuación para el equipo TANITA 418®

Parámetro	Valor
Media de las diferencias (sesgo, kg)	0.024
Intervalo de confianza 95%	-0.2870 a 0.3366
p^* (H_0 : Media=0)	0.8745
Límite inferior de concordancia, kg	-2.6498
Límite superior de concordancia, kg	2.6994
Pendiente (valor de p^{**})	0.7786

Nota: p^* = prueba de hipótesis de que las medias de las diferencias es cero
 p^{**} valor de significancia

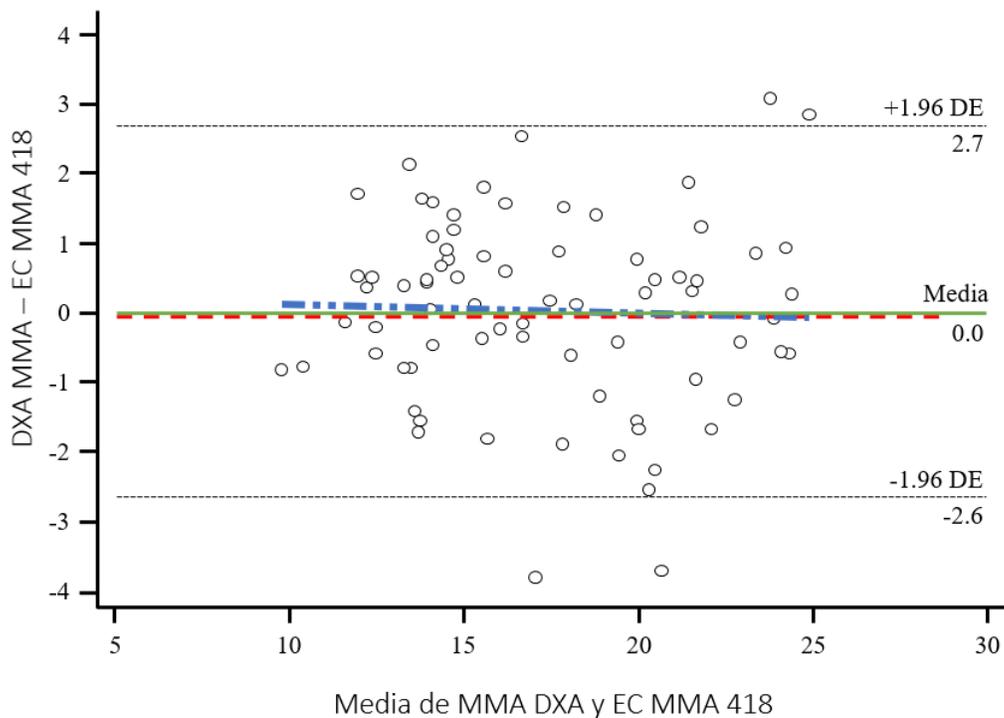


Figura 19. Gráfica de Bland & Altman de ecuación TANITA 418®.

Se muestra la media de las diferencias como línea discontinua. La línea de identidad o diferencias = 0 se muestra en rojo, la media de las diferencias en verde, los límites de concordancia en negro y la línea de regresión en azul.

VALIDACIÓN DEL EQUIPO COMERCIAL TANITA 418®

Para la validación del equipo, la exactitud grupal de la estimación de la MMA por el equipo TANITA 418® respecto a la MMA obtenida por DXA se probó mediante la hipótesis de que la media de las diferencias es igual a cero (**Tabla 18, Figura 20**). El equipo sí mostró sesgo ($p < 0.0001$). La precisión de las estimaciones de MMA del equipo se verificó con los límites de concordancia (**Figura 20**). Los límites de concordancia en el 95% de los casos fueron de -1.5 a +4.6 kg de MMA. La línea de regresión sobre las diferencias mostró que hay tendencia a sobreestimar a menores cantidades de MMA y subestimar la predicción de la MMA en sujetos con más MMA ($p < 0.0001$).

Tabla 18. Datos de concordancia y validación del equipo TANITA 418®

Parámetro	Valor
Media de las diferencias (sesgo)	1.5459
Intervalo de confianza 95%	1.3463 a 1.7456
p* (H ₀ : Media=0)	<0.0001
Límite inferior de concordancia	-1.4787
Límite superior de concordancia	4.5706
Pendiente (valor de p**)	<0.0001

Nota: p*= prueba de hipótesis de que las medias de las diferencias es cero
p** valor de significancia

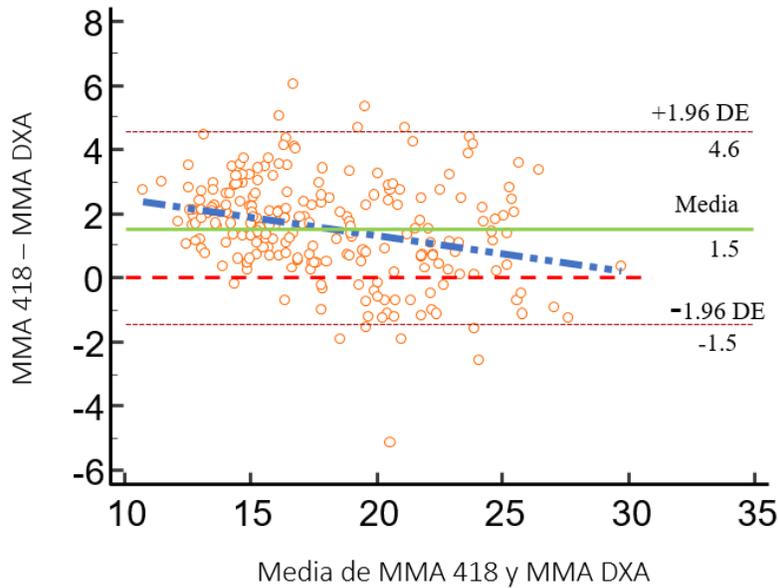


Figura 20. Gráfica de Bland & Altman de equipo TANITA 418®.

Se muestra la media de las diferencias como línea discontinua. La línea de identidad o diferencias = 0 se muestra en rojo, la media de las diferencias en verde, los límites de concordancia en negro y la línea de regresión en azul.

VALIDACIÓN DEL EQUIPO COMERCIAL INBODY 120®

Para la validación del equipo, la exactitud grupal de la estimación de la MMA por el equipo Inbody 120® respecto a la MMA obtenida por DEXA se probó mediante la hipótesis de que la media de las diferencias es igual a cero (**Tabla 19, Figura 21**). El equipo sí mostró sesgo ($p < 0.0001$). La precisión de las estimaciones de MMA del equipo se verificó con los límites de concordancia (**Figura 21**). Los límites de concordancia en el 95% de los casos fueron de -1.5 a +4.6 kg de MMA. La línea de regresión sobre las diferencias mostró que no hay tendencia a sobreestimar o subestimar la predicción de la MMA ($p = 0.572$).

Tabla 19. Datos de concordancia y validación del equipo INBODY 120®

Parámetro	Valor
Media de las diferencias (sesgo)	-0.2380
Intervalo de confianza 95%	-0.4094 a -0.06649
p* (H ₀ : Media=0)	0.0067
Límite inferior de concordancia	-2.8306
Límite superior de concordancia	2.3546
Pendiente (valor de p**)	0.5723

Nota: p* = prueba de hipótesis de que las medias de las diferencias es cero
 p** valor de significancia

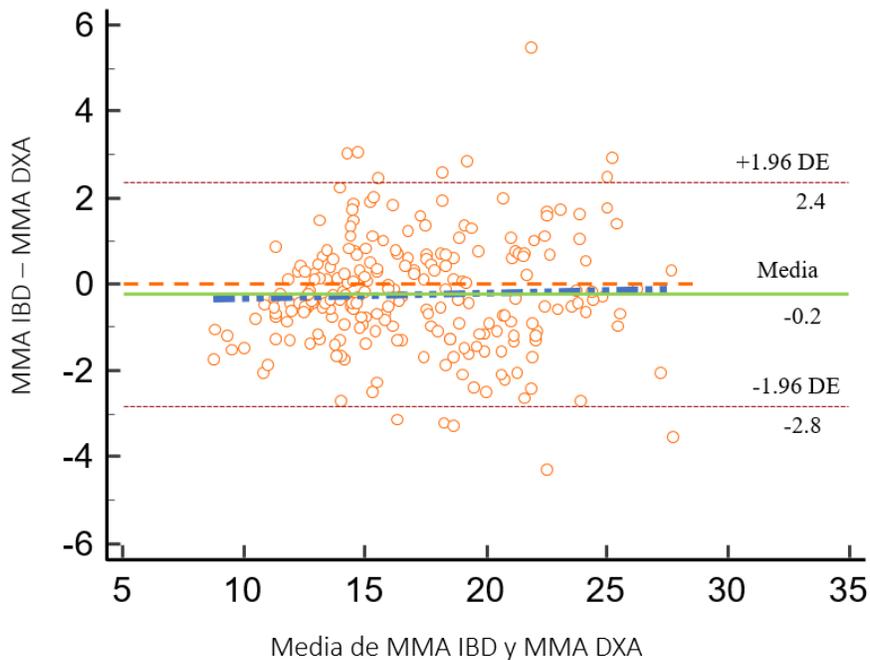


Figura 21. Gráfica de Bland & Altman de equipo INBODY 120®.

Se muestra la media de las diferencias como línea discontinua. La línea de identidad o diferencias = 0 se muestra en rojo, la media de las diferencias en verde, los límites de concordancia en negro y la línea de regresión en azul.

DISCUSIÓN:

En este estudio se desarrollaron dos ecuaciones específicas nuevas para equipos de BIE de grado investigación y se validaron dos equipos comerciales (Tanita-418® e Inbody 120®) para estimar la masa muscular, tomando como método de referencia la MMA medida con DXA en adultos mayores mexicanos. La primera ecuación específica de BIE fue desarrollada con el equipo Bodystat Quadscan 4000® (posición supina). La ecuación final no mostró sesgo, por lo que es exacta. La segunda ecuación específica de BIE fue desarrollada con el equipo Tanita-418® (posición ortostática). La ecuación final tampoco mostró sesgo.

De acuerdo con nuestra pregunta de investigación, la validación del equipo en su modo de uso comercial Tanita-418® mostró sesgo con tendencia a sobreestimar la MMA en sujetos con menos músculo y subestimar la predicción de la MMA en sujetos con mayor masa muscular. Por otro lado, la validación del segundo equipo comercial Inbody 120® mostró sesgo, pero con una predicción homogénea a lo largo de todo el rango de mediciones.

La primera ecuación específica desarrollada con el equipo Bodystat Quadscan 4000® incluyó como variables predictoras el índice de resistencia, sexo y el peso, con una R^2 de 0.92 y un error de 1.21 kg de MMA. La exactitud de la ecuación respecto al método de referencia DXA es de 0.3 kg de MMA. Barbosa-Silva et al. (2019) desarrollaron una ecuación para predecir la MMA en adultos mayores brasileños (60-90 años). A diferencia de nuestra ecuación ellos añadieron la reactancia (X_c) como variable predictoras. Además, su ecuación tuvo un menor valor de predicción ($R^2 = 0.89$) y un mayor error de estimación (EEE = 1.34 kg). Adicionalmente, los mismos autores desarrollaron una ecuación multifrecuencia empleando además de la X_c , la impedancia a 5 kHz, con la cual obtuvieron un valor de R^2 de 0.90 y un EEE de 1.29 kg. Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los resultados de la ecuación monofrecuencia y la multifrecuencia. La ecuación multifrecuencia tampoco tuvo mejores R^2 ni EEE, comparados con las ecuaciones de nuestro estudio. Cabe mencionar que las ecuaciones que incorporan más de una frecuencia no son comunes porque no mejoran significativamente la predicción. Además, tiene implicaciones en los costos de los

estudios porque un dispositivo multifrecuencia siempre es más costoso que uno monofrecuencia.

La precisión de las ecuaciones específicas de Barbosa-Silva et al. (2019) fue similar a la que encontramos en nuestro estudio (2.6 a -2.6) con un sesgo < 1kg. Cabe mencionar que el IMC entre los sujetos del estudio de Barbosa-Silva et al. (2019) es similar al de nuestra población de estudio. No obstante, ellos incorporaron sujetos caucásicos y no caucásicos sin especificar qué tipo de población mestiza. En nuestro caso, la población incluida fue mestiza sin ningún componente indígena autopercebido. El componente étnico y la región geográfica se ha probado que influye en la relación entre el IMC y la composición corporal. Es decir, sujetos con un mismo IMC pueden tener diferente contenido de MMA si pertenecen a una diferente región geográfica o grupo étnico (Alemán-Mateo et al., 2020). Esta es otra razón del por qué las ecuaciones deben ser específicas para un grupo o tipo de población.

Otras ecuaciones específicas para estimar la MMA han incluido sujetos caucásicos y sólo dos se han desarrollado en Latinoamérica. (Kyle et al., 2003; Sergi et al., 2015; Rangel Peniche et al., 2015; Scafoglieri et al., 2017; Van Baar et al., 2015). El tamaño de muestra incluido ha sido de 106 a 444 sujetos. En general, el intervalo de R^2 ha sido de 0.83 a 0.97. Mientras que la precisión ha sido de 2.9 a -2.7 kg de MMA. Así mismo, el sesgo o media de las diferencias es de 1.01 kg de MMA a 1.4 kg. Nuestra ecuación guarda similitud y validez con las características de las ecuaciones mencionadas.

De forma reciente, se publicó una ecuación específica (Rangel Peniche et al., 2015) similar a la nuestra en adultos mayores de Querétaro. Las variables que incluyeron en esa ecuación son las mismas que en nuestro modelo (peso, sexo e índice de resistencia). Nuestra ecuación y la de Rangel Peniche et al. (2015) podrían ser intercambiables excepto que las estimaciones de MMA de una ecuación no sólo dependen de la población y número de sujetos, sino también del equipo empleado. En el estudio de Rangel Peniche et al. (2015) utilizaron un modelo de BIE RJL Quantum X y en nuestro estudio utilizamos un equipo multifrecuencia Bodystat Quadscan 4000. Esto permite que los usuarios cuenten con más alternativas para predecir la MMA empleado uno u otro equipo.

La segunda ecuación específica de BIE fue desarrollada con el equipo Tanita-418® (posición ortostática). La ecuación final incluyó el índice de impedancia, sexo y el peso, con una R^2 de 0.91 y un error de 1.28 kg de MMA. La ecuación no mostró sesgo, por lo que es exacta. En cuanto a la precisión, la ecuación mostró que el error de estimación se encuentra entre 2.7 y -2.6 kg de MMA. Existen otras ecuaciones específicas para estimar la MMA en equipos de BIE que miden en posición ortostática, como las de Yoshida et al. (2014) y Yamada et al. (2017), quienes incluyeron 250 adultos mayores japoneses y 756 adultos japoneses de 18 a 86 años respectivamente. El equipo de BIE utilizado por Yoshida D. et al. fue una MC-980A, Tanita, Tokyo, Japón); mientras que el utilizado por Yamada et al. (2017) fue una MC-780A-N, TANITA, Tokyo, Japón). El intervalo de R^2 producido en esas ecuaciones fue de 0.86 a 0.89. Así mismo, el error que reportaron respectivamente fue de 0.89 y 1.34 kg de MMA. Yoshida et al. (2014) reportaron una exactitud cerca de 0.0 kg de MMA. Sin embargo, omitieron la precisión y sus ecuaciones muestran una posible tendencia a obtener diferentes resultados de MMA a lo largo de la magnitud de medición. Por otro lado, Yamada et al. (2017) no reportaron la exactitud ni la precisión de su ecuación. Cabe mencionar que la ecuación elaborada por Yamada et al. (2017) contiene múltiples frecuencias de impedancia. ¿Es posible que una ecuación que incorpora múltiples frecuencias de impedancia (y no sólo a 50 kHz) sea más exacta y precisa? Son escasas este tipo de ecuaciones de composición corporal. Generar ecuaciones alternativas de múltiples frecuencias cuando sea posible, podría comprobar si son más exactas que las ecuaciones de una sola frecuencia, aunque fueran más complejas y más costosos los equipos. Sin embargo, al comparar las ecuaciones de Yamada et al. (2017) con nuestras ecuaciones propuestas, las de Yamada et al. (2017) tuvieron menor valor de predicción (R^2) y similar error (EEE).

Generar ecuaciones específicas nuevas de MMA en equipos de BIE en posición ortostática y posición supina implica dos diferencias importantes: 1) los equipos de BIE de posición vertical son más comunes tanto en la consulta tradicional como en centros de investigación y 2) esto se debe en parte a que son menos costosos y más prácticos de usar. En México no se dispone de estudios que hayan generado ecuaciones para equipos de BIE en posición vertical o que hayan reportado la validación de algún otro. Es por esto que, hasta el momento, la segunda ecuación de nuestro estudio es la

primera de su tipo, desarrollada en población mexicana.

En cuanto a la validación de la MMA estimada con equipos comerciales de BIE, hay muy pocos estudios hasta la fecha. Por ejemplo, Karelis et al. (2013) validaron el equipo multifrecuencia InBody 230® en adultos sanos de Canadá, pero sólo para la MLG. Lee et al. (2018) validaron el equipo multifrecuencia Inbody770® en adultos sanos de Korea. Por otra parte, Mally et al. (2011) validaron el equipo Tanita-418® en adultos mayores europeos. En los estudios previos, los equipos que se pusieron a prueba no fueron validados exitosamente. Sin embargo, no encontramos estudios en población mexicana que validaran equipos comerciales de BIE. Nosotros propusimos validar las estimaciones de MMA de los equipos InBody 120® y Tanita-418® porque son los más utilizados en el área clínica de nutrición y centros de investigación.

El primer equipo comercial que consideramos fue el Inbody120® porque es un equipo de posición vertical segmental. Este equipo mostró un sesgo (-0.2 kg de MMA) y una precisión de 2.4 a -2.8 kg de MMA. No se encontraron estudios previos que analizaran la predicción del Inbody120®, por lo tanto, sugerimos que al utilizar este equipo para estimar la MMA de adultos mayores mexicanos, se considere que a pesar de que la estimación en nuestra población fue homogénea a lo largo del rango de mediciones, sí presentó sesgo y podría requerirse desarrollar una ecuación específica para reducirlo.

En cuanto al equipo Tanita-418® este mostró un mayor sesgo y tendencia a subestimar o sobreestimar la MMA dependiendo del tamaño de los sujetos. Mally et al. (2011) evaluaron la validez de la estimación de la MMA de este equipo en población europea, concluyendo que la estimación de la MMA no era representativa de su población de estudio, así mismo, nosotros consideramos que la Tanita-418® no representa a la población de adultos mayores mexicanos, por lo que la aplicación de la nueva ecuación desarrollada en este estudio es la mejor alternativa para predecir de forma exacta la MMA, cuando se utiliza este equipo.

Nuestro estudio tiene algunas limitaciones. Primero, (aunque es general para todos los estudios citados) usamos la DXA como parámetro de referencia de la MMA. No obstante, este método tiene limitaciones metodológicas ya que asume que la masa magra es tejido muscular, siendo en realidad un componente molecular de agua y

proteína. El método más preciso para medir la MMA sería a través de la resonancia magnética. Sin embargo, el uso de la resonancia magnética es costoso, mientras que la mayoría de los puntos de corte, ecuaciones y clasificación de la MMA se basa en la DXA. Por ello, la DXA se mantiene como el estándar para evaluar la MMA. Segundo, nosotros incluimos una población mixta de sujetos con y sin comorbilidades. Algunos autores podrían sugerir que, al desarrollar ecuaciones en adultos mayores sanos, estas deberían ser validadas en sujetos con comorbilidades (Yu et al., 2016). Esto se debe a que la composición corporal es diferente entre sujetos sanos y enfermos, lo cual se ha demostrado en estudios como los de Puente et al., (2009); Hernández et al., (2018); Medina-Escobedo et al., (2013). Además, la población mórbida representa la mayoría de los encuestados. Así que una validación comparando sujetos sanos y con comorbilidades podría ser un pendiente para nuestras ecuaciones. Tercero, aunque nuestra ecuación fue desarrollada en adultos mayores mexicanos, sólo representa sujetos del noreste del país. Otros estudios podrían validar las estimaciones de las nuevas ecuaciones en otras regiones del país. Cuarta, las nuevas ecuaciones pueden ser empleadas con sujetos con IMC de 18 – 46 kg/m². Algunos autores sugieren (Van Baar et al., 2015) que el error de predicción de las ecuaciones pudiera ser mayor en sujetos con IMC mayor a 35 kg/m². No obstante, este error de predicción no fue revelado cuando observamos las gráficas de Bland & Almant, ya que la distribución de las diferencias fue homogénea.

En cuanto a la validación de los equipos, como menciona Karelis et al., (2013), es necesario, validar los equipos en estudios longitudinales como los que evalúan los cambios en la composición corporal por efecto de alguna intervención.

CONCLUSIONES:

Desarrollamos y validamos dos ecuaciones de predicción de MMA para adultos mayores mexicanos, que son precisas y exactas respecto al estándar de referencia DXA. Una de las ecuaciones fue desarrollada con el equipo de BIE Quadscan 4000, BODYSTAT®, mientras que la otra fue desarrollada con el equipo Tanita-418®. Las ecuaciones podrán ser empleadas para la estimación de la MMA mientras se cuente con el mismo equipo con el que se desarrolló la ecuación para poder tener resultados confiables.

Por otra parte, al comparar las estimaciones de MMA obtenida con los equipos de BIE comerciales Inbody 120® y Tanita-418® contra las estimaciones obtenidas con DXA, concluimos que ambos equipos tienen sesgo en la estimación de la MMA en adultos mayores mexicanos, siendo mayor en el equipo Tanita-418®. Ambos sesgos, pueden corregirse con ecuaciones desarrolladas específicamente para predecir la MMA en estos equipos. Este es caso de nuestra ecuación específica propuesta para el equipo Tanita -418® que resuelve el problema de invalidez que reportamos.

REFERENCIAS:

- Abad, S., Sotomayor, G., Vega, A., Pérez de José, A., Verdalles, U., Jofré, R., & López-Gómez, J. M. (2011). El ángulo de fase de la impedancia eléctrica es un predictor de supervivencia a largo plazo en pacientes en diálisis. *Nefrología (Madrid)*, 31(6), 670-676.
- Alemán-Mateo, H., López-Teros, M. T., Ruiz-Valenzuela, R. E., Ramírez-Torres, M., & Urquidez-Romero, R. (2020). Sarcopenia: Influence of regional skeletal muscle cutoff points and fat-free mass in older Mexican people—A pilot study. *Current Gerontology and Geriatrics Research*, 2020, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/8037503>
- Alvero-Cruz, J. R., Gómez, L. C., Ronconi, M., Vázquez, R. F., & i Manzañido, J. P. (2011). La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización. *Revista Andaluza de medicina del deporte*, 4(4), 167-174.
- Barbosa-Silva, T. G., Gonzalez, M. C., Bielemann, R. M., Santos, L. P., & Menezes, A. M. (2019). Think globally, act locally: The importance of population-specific Bioelectrical impedance analysis prediction equations for muscle mass assessment. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 44(7), 1338-1346. <https://doi.org/10.1002/jpen.1742>
- Berral de la Rosa, F. J., Rodríguez-Bies, E. C., Berral de la Rosa, C. J., Rojano Ortega, D., & Lara Padilla, E. (2010). Comparación de ecuaciones antropométricas para evaluar la masa muscular en jugadores de bádminton. *International Journal of Morphology*, 28(3), 803-810.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8(2), 135-160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- Bodystat Ltd. (2020). *Clinical Practice: QUADSCAN4000 Touch Screen*.

- Bosaeus, I., Wilcox, G., Rothenberg, E., & Strauss, B. J. (2014). Skeletal muscle mass in hospitalized elderly patients: Comparison of measurements by single-frequency BIA and DXA. *Clinical Nutrition*, 33(3), 426-431. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2013.06.007>
- Buckinx, F., Reginster, J. Y., Dardenne, N., Croisier, J. L., Kaux, J. F., Beaudart, C., ... & Bruyère, O. (2015). Concordance between muscle mass assessed by bioelectrical impedance analysis and by dual energy X-ray absorptiometry: a cross-sectional study. *BMC musculoskeletal disorders*, 16(1), 1-7.
- Caballero, A. C., Cejudo, P., Martín, C. L., Calero, C., Marquez-Martín, E., Ortega, F., & López-Campos, J. L. (2015). Valoración de la masa muscular por bioimpedancia en pacientes con EPOC. *Rev Esp Patol Torac*, 27(3), 143-150.
- Canda, A. S. (2015). Puntos de corte de diferentes parámetros antropométricos para el diagnóstico de sarcopenia. *Nutrición Hospitalaria*, 32(2), 765-770.
- Chalé, A., Cloutier, G. J., Hau, C., Phillips, E. M., Dallal, G. E., & Fielding, R. A. (2012). Efficacy of whey protein supplementation on resistance exercise-induced changes in lean mass, muscle strength, and physical function in mobility-limited older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, 68(6), 682-690. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls221>
- Espinel-Bermúdez, M. C., Sánchez-García, S., García-Peña, C., Trujillo, X., Huerta-Viera, M., Granados-García, V., ... & Arias-Merino, E. D. (2018). Factores asociados a sarcopenia en adultos mayores mexicanos: encuesta nacional de salud y nutrición 2012. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 56(1), 46-53.
- Hernández A., Monguí K., & Rojas Y. (2018). Descripción de la composición corporal, fuerza muscular y actividad física en pacientes con insuficiencia renal crónica en hemodiálisis en una unidad renal en Bogotá, Colombia. *Archivos de Medicina del Deporte*. 11 (2), 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.09.005>

- Heymsfield, S. B., Smith, R., Aulet, M., Bensen, B., Lichtman, S., Wang, J. P. R. J., & Pierson Jr, R. N. (1990). Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *The American journal of clinical nutrition*, 52(2), 214-218.
- ICRP. (1975). *ICRP publication 23: Reference man: Anatomical, physiological and metabolic characteristics*. SAGE Publications.
- InBody Co., Ltd. (2018). *Inbody 120 user's manual*. https://nl.inbody.com/wp-content/uploads/2020/02/120_manual_ENG_E_180701.pdf
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (2000). Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *Journal of Applied Physiology*, 89(2), 465-471. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.2.465>
- Johnson, R. W., Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Muller, K. E., & Nizam, A. (1999). undefined. *The American Statistician*, 53(3), 292. <https://doi.org/10.2307/2686116>
- Karelis, A. D., Chamberland, G., Aubertin-Leheudre, M., & Duval, C. (2013). Validation of a portable bioelectrical impedance analyzer for the assessment of body composition. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(1), 27-32. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0129>
- Khalil, S. F., Mohktar, M. S., & Ibrahim, F. (2014). The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases. *Sensors*, 14(6), 10895-10928.
- Kim, J., Wang, Z., Heymsfield, S. B., Baumgartner, R. N., & Gallagher, D. (2002). Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *The American journal of clinical nutrition*, 76(2), 378-383.

- Kyle, U., Genton, L., Hans, D., & Pichard, C. (2003). Validation of a bioelectrical impedance analysis equation to predict appendicular skeletal muscle mass (ASMM). *Clinical Nutrition*, 22(6), 537-543. [https://doi.org/10.1016/s0261-5614\(03\)00048-7](https://doi.org/10.1016/s0261-5614(03)00048-7)
- Lee, S. Y., Ahn, S., Kim, Y. J., Ji, M. J., Kim, K. M., Choi, S. H., ... & Lim, S. (2018). Comparison between dual-energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring whole body muscle mass and appendicular skeletal muscle mass. *Nutrients*, 10(6), 738.
- Lera, L., Albala, C., Ángel, B., Sánchez, H., Picrin, Y., Hormazabal, M. J., & Quiero, A. (2014). Predicción de la masa muscular apendicular esquelética basado en mediciones antropométricas en Adultos Mayores Chilenos. *Nutrición Hospitalaria*, 29(3), 611-617.
- Lohman, T. G. (1981). Skinfolds and body density and their relation to body fatness: a review. *Human biology*, 181-225.
- Mally, K., Trentmann, J., Heller, M., & Dittmar, M. (2011). Reliability and accuracy of segmental bioelectrical impedance analysis for assessing muscle and fat mass in older Europeans: a comparison with dual-energy X-ray absorptiometry. *European journal of applied physiology*, 111(8), 1879-1887.
- Medina-Escobedo M., Romero-Campos S., Sansores-España D., Viveros-Cortés A., Villanueva-Jorge S. (2013). Modificaciones en la composición corporal según el daño renal en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. 51(1), 26-3. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=41853>
- Osuna-Padilla, I. (2018). El papel de la nutrición en la prevención y manejo de la sarcopenia en el adulto mayor. *Nutrición Clínica*, 12(1-2018), 23-36.

- Peláiz-Barranco, A., Barranco-Hernández, E., García-Zaldívar, O., González-Carmenatea, I., & Magrans-Buch, C. (2006). Utilidad de la espectroscopia de impedancias para la determinación de la composición corporal en humanos. *Revista Cubana de Física*.
- Pennings, B., Boirie, Y., Senden, J. M., Gijzen, A. P., Kuipers, H., & Van Loon, L. J. (2011). Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(5), 997-1005. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.008102>
- Puente L., Hurtado G., Abud C., Bravo A. (2009). Evaluación del estado nutricional en una población mexicana de pacientes adultos con artritis reumatoide. *Nutr Hosp*. 24(2), 233-238.
- Quesada Leyva, L., León Ramentol, C. C., Betancourt Bethencourt, J., & Nicolau Pestana, E. (2016). Elementos teóricos y prácticos sobre la bioimpedancia eléctrica en salud. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 20(5), 565-578.
- Rangel Peniche, D. B., Raya Giorguli, G., & Alemán-Mateo, H. (2015). Accuracy of a predictive bioelectrical impedance analysis equation for estimating appendicular skeletal muscle mass in a non-Caucasian sample of older people. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 61(1), 39-43. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.03.007>
- Scafoglieri, A., Clarys, J. P., Bauer, J. M., Verlaan, S., Van Malderen, L., Vantieghem, S., Cederholm, T., Sieber, C. C., Mets, T., & Bautmans, I. (2017). Predicting appendicular lean and fat mass with bioelectrical impedance analysis in older adults with physical function decline – The provide study. *Clinical Nutrition*, 36(3), 869-875. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.04.026>
- Secretaría de Salud. (1987). REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SALUD EN MATERIA DE INVESTIGACION PARA LA SALUD.

- Sergi, G., De Rui, M., Veronese, N., Bolzetta, F., Berton, L., Carraro, S., ... & Perissinotto, E. (2015). Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living Caucasian older adults. *Clinical nutrition*, 34(4), 667-673.
- Tanita Corporation. (2021). *BODY COMPOSITION ANALYZER BC-418 INSTRUCTION MANUAL*
- Tengvall, M., Ellegård, L., Malmros, V., Bosaeus, N., Lissner, L., & Bosaeus, I. (2009). Body composition in the elderly: Reference values and bioelectrical impedance spectroscopy to predict total body skeletal muscle mass. *Clinical Nutrition*, 28(1), 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2008.10.005>
- Van Baar, H., Hulshof, P., Tieland, M., & De Groot, C. (2015). Bio-impedance analysis for appendicular skeletal muscle mass assessment in (pre-) frail elderly people. *Clinical Nutrition ESPEN*, 10(4), e147-e153. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2015.05.002>
- Vieitez, J. F., & Aguilera, R. R. (2001). "Estimación de la masa muscular por diferentes ecuaciones antropométricas en levantadores de pesas de alto nivel. *Archivos de Medicina del Deporte*, 18(86), 585-591.
- Yamada, Y., Nishizawa, M., Uchiyama, T., Kasahara, Y., Shindo, M., Miyachi, M., & Tanaka, S. (2017). Developing and validating an age-independent equation using multi-frequency Bioelectrical impedance analysis for estimation of appendicular skeletal muscle mass and establishing a cutoff for Sarcopenia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 809. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070809>
- Yoshida, D., Shimada, H., Park, H., Anan, Y., Ito, T., Harada, A., & Suzuki, T. (2014). Development of an equation for estimating appendicular skeletal muscle mass in

Japanese older adults using bioelectrical impedance analysis. *Geriatrics & Gerontology International*, 14(4), 851-857. <https://doi.org/10.1111/ggi.12177>

Yu, S., Powell, A., Khaw, K., & Visvanathan, R. (2016). The performance of five Bioelectrical impedance analysis prediction equations against dual X-ray Absorptiometry in estimating appendicular skeletal muscle mass in an adult Australian population. *Nutrients*, 8(4), 189. <https://doi.org/10.3390/nu8040189>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de consentimiento informado

Facultad de Salud Pública y Nutrición

Universidad Autónoma de Nuevo León. Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública. Laboratorio de Composición Corporal

FORMA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio	Composición corporal por el modelo de cuatro compartimientos en adultos mayores con obesidad de la Zona Norte de México: Datos para el desarrollo de ecuaciones precisas, exactas y prácticas
Nombre del Investigador Principal	Dr. en C. Erik Ramírez López
Institución	Facultad de Salud Pública y Nutrición. Universidad Autónoma de Nuevo León
Servicio/Departamento	Laboratorio de Composición Corporal. Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública
Teléfono de Contacto	13404890 Ext. 1908
Persona de Contacto	Dr. en C. Erik Ramírez López

El presente estudio se llevará a cabo para evaluar la composición corporal de adultos mayores de 60 años con adiposidad de la ciudad de Monterrey, N.L. Este proyecto contribuirá al desarrollo de herramientas que faciliten el diagnóstico oportuno de posibles riesgos de salud, que surgen con los cambios en los componentes del peso corporal de los adultos mayores con adiposidad. Los resultados nos permitirán conocer su composición corporal. Para ello se llevarán a cabo estudios clínicos y mediciones corporales divididos en dos diferentes días en el Laboratorio de Composición Corporal (LCC) del Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública (CINSP) de la Facultad de Salud Pública y Nutrición.

Primera visita, se llevará a cabo los siguientes estudios clínicos:

- **Medición de índice de masa corporal y presión arterial:** Para obtener el índice de masa corporal se medirá su peso y talla. En caso de presentar un índice de masa corporal menor a $<25\text{Kg}/\text{m}^2$, no se le realizarán los análisis clínicos. La presión arterial será tomada utilizando un esfigmomanómetro manual.
- **Análisis de sangre:** se extraerán 15ml de sangre en total para conocer su perfil de lípidos, valor de hemoglobina y glucosa en sangre, los cuales se almacenarán para análisis. Para el análisis de glucosa en sangre se realizará una prueba de tolerancia a la glucosa, la cual consiste en consumir 75 g de glucosa en 250 ml de solución glucosada y posteriormente extraer una

muestra de sangre después de dos horas del consumo de la solución glucosada.

- **Análisis de orina:** se analizará primera muestra de orina del día (que usted traiga) en el laboratorio de CINSP.
- **Aplicación de cuestionarios:** se realizarán cuatro cuestionarios para conocer su historia clínica, datos personales generales, habilidades motoras y cognitivas.

Es importante mencionarle que, en caso de no cumplir con los criterios de inclusión (glucosa <200 mg/dl post-dosis, índice de masa corporal \leq a 25kg/m², independencia física, hidratación normal), usted no podrá participar en la segunda visita y solo recibirá el resultado de peso, talla y presión arterial.

- En los dos días de visita nos comprometemos a proporcionarle el transporte cuando usted lo requiera, así como a darle un desayuno ligero de cortesía.
- Debido a que el CINSP es un centro de investigación, no se compromete a otorgar tratamientos.
- Usted tiene el derecho a preguntar sobre cualquier aspecto de la investigación, **así como a retirarse de esta investigación en cualquier momento, si así lo desea.**

Beneficios del estudio

A usted se le entregarán los resultados de lo que en el Laboratorio de Composición Corporal se realice para conocer su estado actual de salud. Así mismo, en base a los resultados podrá conocer si presenta diabetes tipo 2 o prediabetes, así como conocer los niveles de colesterol y triglicéridos, que al momento del análisis el voluntario tenga. Es importante mencionar que el diagnóstico de diabetes no se realiza de manera rutinaria en instituciones de salud pública y que tiene un costo elevado, sin embargo, por parte del proyecto se hará de forma gratuita. Adicional a esto, conocerá su peso actual y cantidad de grasa y músculo que tiene en su cuerpo, así como los riesgos de salud asociados.

Finalmente, le comunicamos que los resultados de todos y cada uno de los exámenes realizados se le entregarán a la brevedad posible, para los fines que Usted convenga.

Para llevar a cabo todos los procedimientos mencionados con anterioridad, requerimos que asista en ayuno, en ropa cómoda y acudir en la hora y lugar señalado.

Los exámenes se realizarán sin ningún costo en las instalaciones del **Laboratorio de Composición Corporal** del Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública de la Facultad de Salud Pública y Nutrición, UANL.

Declaro que he recibido una explicación completa del estudio y comprendo que no existe ningún riesgo o daño para mi salud actual o futura. Así mismo me

comprometo a acatar las recomendaciones relacionadas a la investigación para lograr resultados confiables.

NOMBRE DEL VOLUNTARIO:

DIRECCIÓN:

TELÉFONO: _____ FECHA: _____ FIRMA: _____

CORREO ELECTRÓNICO: _____

Agradecemos su valiosa participación en el estudio
