

Ecuaciones antropométricas para el cálculo de grasa corporal en adultos jóvenes

Arnulfo Ramos-Jiménez,^{1} Rosa P. Hernández-Torres,² Miguel Murguía-Romero,³*

¹Departamento de Ciencias de la Salud, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. ²Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua (México). ³Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

RESUMEN: Dado que para la población Latinoamericana se cuenta con escasas ecuaciones antropométricas validadas para determinar porcentaje de masa grasa (% MG), se diseñaron ecuaciones antropométricas prácticas para calcular el % MG en adultos jóvenes. Se realizaron mediciones antropométricas por técnicas validadas, y se calculó el % MG por densitometría (BodPod) y bioimpedancia. Se reclutaron 284 voluntarios (18-35 años), de uno y otro sexo. Las ecuaciones se diseñaron por regresión lineal múltiple por el método de todas las regresiones posibles y se validaron por su grado de bondad de ajuste (R^2), error estándar de estimación (EEE) y por validación cruzada. En hombres: % MG por densitometría $R^2 = 0.78$, EEE = 3.64 %, $p < 0.001$; % MG por bioimpedancia $R^2 = 0.76$, EEE = 2.48 %, $p < 0.001$. En mujeres: % MG por densitometría $R^2 = 0.98$, EEE = 4.02%, $p < 0.001$; % MG por bioimpedancia $R^2 = 0.99$, EEE = 2.37 %, $p < 0.001$. Las ecuaciones aquí diseñadas presentan sencillez, alta validez y confiabilidad, siendo útiles en la clínica y campo deportivo.

Palabras clave: Antropometría, densitometría, bioimpedancia, estudio de validación.

SUMMARY: Anthropometric equations for calculating body fat in young adults. Given that in Latin America we have few validated anthropometric equations to determine percentage of fat mass (% MG), practical anthropometric equations were designed to calculate the % MG in young adults. Anthropometric measurements were made by validated techniques, and % MG was calculated by densitometry (BodPod) and bioimpedance. We recruited 284 volunteers (18-35 years), men and women. The equations were designed by multiple linear regression by the method of all possible regressions, and validated by their degree of goodness of fit (R^2), standard error of estimation (SES), and cross-validation. In men: % MG by densitometry $R^2 = 0.78$, SES = 3.64%, $p < 0.001$; % MG by bioimpedance $R^2 = 0.76$, SES = 2.48%, $p < 0.001$. In women: % MG by densitometry $R^2 = 0.98$, SES = 4.02 %, $p < 0.001$; % MG by bioimpedance $R^2 = 0.99$, SES = 2.37 %, $p < 0.001$. The equations here designed have simplicity, high validity, and reliability, being useful in the clinic and sports field.

Key words: Anthropometry, densitometry, bioimpedance, validation study.

INTRODUCCIÓN

El estudio sistemático de la forma corporal, sus macro-componentes (masa grasa, masa muscular, masa ósea y masa magra), y su asociación con el estado de salud, inician a mediados del siglo XX, con los trabajos de

Sheldon (1). En ese tiempo, igualmente se empieza a mencionar la relación multifactorial de la morbilidad asociada con los desórdenes en los estilos de vida, dieta y ejercicio físico; factores que al modificarse afectan los macro-componentes corporales (2). La acumulación excesiva de masa grasa, observada en la cultura

occidental, es un factor detonante de varias enfermedades metabólicas. Para encontrar la relación ideal entre los compartimentos corporales, desde el punto de vista de la salud y del rendimiento físico, se han realizado mediciones paralelas de la masa grasa con la presencia de enfermedades y con el grado de acondicionamiento físico-atlético (3).

Para la determinación de la masa grasa se han utilizado diversas metodologías, entre ellas, técnicas de procesamiento de imágenes, como la tomografía computarizada (4), la resonancia magnética nuclear (5) y la absorciometría ósea de rayos X de doble energía (DEXA, por sus siglas en inglés) (6); además, la densitometría, realizada ya sea por pletismografía (Bod Pod) o peso subacuático (7), la bioimpedancia (BIA) (8), la difracción por rayos infrarrojos (9), y últimamente la antropometría. Esta última, si bien es una técnica doblemente indirecta, es práctica y de muy bajo costo. La medición de la masa grasa ha sido importante por los crecientes problemas de sobrepeso y obesidad; además, debido a la imposibilidad de su medición directa, los diferentes equipos y técnicas antes mencionados utilizan sofisticados programas y algoritmos para su cálculo. Actualmente, encontramos una gran cantidad de ecuaciones, utilizando cada vez métodos más económicos y prácticos como la bioimpedancia y la antropometría.

La validación de las ecuaciones antropométricas se ha realizado por diferentes métodos, entre ellos DEXA (6), pletismografía, peso subacuático y bioimpedancia (8) mostrando entre ellos moderados y altos índices de correlación ($R > 0.60$) y errores estándar de estimación (EEE) menores del 5%. Sin embargo, debido a las diferencias biológicas, culturales y étnicas, y para que dichas ecuaciones tengan la sensibilidad y precisión adecuadas estas deben ser específicas para cada población. A nuestro

conocimiento, en Latinoamérica contamos con escasas ecuaciones antropométricas validadas (10). Por lo anterior, aquí se desarrolla un par de ecuaciones antropométricas para calcular de manera sencilla el porcentaje de masa grasa (%MG) en adultos jóvenes; ecuaciones validadas por pletismografía e impedancia bioeléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

A través de una convocatoria abierta se invitaron a participar en un estudio transversal a estudiantes de uno y otro sexo de un campus universitario de una ciudad cosmopolita del norte de México (Ciudad Juárez, Chihuahua). Se registraron 284 participantes de 18 a 35 años (50% mujeres), 14 de ellos se eliminaron por errores técnicos al momento de las evaluaciones. Ciento sesenta y cuatro de los participantes mencionaron ser sedentarios, el resto practicar de manera sistemática y recreativa diferentes deportes. Los criterios de inclusión fueron estar físicamente sano, de acuerdo con la aplicación de un cuestionario de salud general, no haber realizado ejercicio físico intenso en las últimas 24 h, y no haber ingerido alcohol, diuréticos u otros fármacos que afectaran el estado de hidratación. Antes de cualquier estudio se explicó a los participantes el protocolo y se pidió firmar la carta de consentimiento informado; criterios acordes a los lineamientos de la carta de Helsinki.

Posteriormente, en una sesión de 60 min se realizaron mediciones antropométricas y determinaciones del % MG por densitometría (pletismografía) e impedancia bioeléctrica. Los sujetos se presentaron en ayuno de 8 h o más y se les pidió vaciar su vejiga antes de las mediciones. Estas mediciones se realizaron en un laboratorio con temperatura controlada (22 - 24 °C) y vistiendo los participantes solamente

traje de baño ajustado y gorra de natación, despojándose de toda joyería.

Mediciones antropométricas

Para conocer las dimensiones antropométricas y el somatotipo (endomorfia-mesomorfia-ectomorfia) de los participantes se realizó el perfil antropométrico completo, según la metodología descrita por Norton y Ods (11), y recomendadas por la Asociación Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK, por sus siglas en inglés). Para ello se utilizó un antropómetro Centurión Rosscraft (Vancouver, Canadá), una báscula de plataforma digital SECA 656 (Hamburgo, Alemania), y un estadímetro SECA portátil 206 (Hamburgo, Alemania). Estas mediciones fueron realizadas por un experto antropometrista estandarizado por la ISAK, el cual presentó un error técnico de medición de 6.2, 1.5, 1.7 y un coeficiente de correlación intraclase de 0.98, 0.99, 0.99, para pliegues, diámetros y circunferencias corporales, respectivamente. Como variables independientes dentro de los modelos predictivos se consideraron: el ser sedentario o practicar actividades deportivas, las mediciones de los pliegues cutáneos, la circunferencia de cintura (CC) y el índice de masa corporal (IMC: peso/estatura²), todos ellos por su asociación biológica con la masa grasa corporal, esta última como variable dependiente.

Densitometría

Para este procedimiento se utilizó la técnica de pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod, Cosmed USA), siguiendo las recomendaciones del comerciante, tanto para las calibraciones del equipo, como para las mediciones del volumen corporal y peso (12). Para el cálculo del % MG se utilizó la densidad corporal (peso/volumen) y la ecuación de Siri: $\% \text{ MG} = [(4.95/D) - 4.5] \times 100$; siendo D la densidad corporal (13). Los volúmenes

pulmonares residuales fueron los predichos (14) por el sistema según el manual de operación del Bod Pod. Previamente se han publicado diferencias mínimas y no significativas (186 ± 46 ml) entre los volúmenes predichos y medidos por este equipo (15). Asimismo, este equipo ha sido validado contra otros modelos, entre ellos el peso subacuático (7) y el modelo de cuatro compartimentos (densidad corporal, masa libre de grasa, agua corporal y masa ósea) (16), encontrándose altas correlaciones entre ambos ($R^2 = 0.88 - 0.95$) y diferencias en test re-test menores del 1%.

Impedancia bioeléctrica

Para este procedimiento se utilizó el bioimpedanciómetro Bodystat QuadScan 4000 (Bodystat technology, UK), posterior a 5 minutos de estar el sujeto en una posición supina, limpiar la zona de los electrodos con etanol y estando el sujeto con las piernas y brazos separados, sin tocarse el cuerpo. Los electrodos se pusieron sobre el dorso de la mano y pie derechos. Todo lo anterior como lo explican los procedimientos técnicos ya publicados (17). Antes de las mediciones el equipo se calibró con una resistencia de 500 Ω , misma que no varió más de 2 Ω . Este método de determinación ha sido validado contra DEXA y métodos de dilución mostrando alta correlación entre ellos ($R^2 = 0.75 - 0.91$) (18,19).

Análisis estadísticos y diseño de ecuaciones

Para analizar las diferencias en las características físicas entre sexo, se realizó una prueba *t*-Student de muestras independientes. Se realizó además un análisis de correlación bivariada entre el % MG medido por densitometría y bioimpedancia y las variables antropométricas analizadas. Para encontrar las mejores y más sencillas ecuaciones que calcularan los % MG a partir de datos antropométricos, se realizaron análisis de regresión lineal múltiple de las re-

gresiones posibles considerando todas las combinaciones de variables independientes. Debido a que nuestro objetivo era encontrar ecuaciones prácticas, que pudieran ser usadas de forma ágil, sólo consideramos las ecuaciones que contuvieran dos a cinco variables independientes. Así, generamos y evaluamos 3,458 ecuaciones: 91, 364, 1001, y 2002 ecuaciones con dos, tres, cuatro y cinco variables independientes, respectivamente; esto para cada uno de los cuatro casos (densitometría y bioimpedancia, para mujeres y hombres), por lo que en total se evaluaron 13,832 ecuaciones. Se escogieron aquellas ecuaciones que presentaban mayor R² y menor EEE. Como variables dependientes se seleccionaron los %MG, determinados por densitometría e impedancia bioeléctrica. Como variables independientes se incluyeron: peso, estatura, circunferencia de cintura (CC) índice de masa corporal (IMC) y pliegues cutáneos (descritos en la Tabla 1). Se calcularon ecuaciones tanto para hombres como para mujeres. Para validar las ecuaciones de regresión propuestas se realizaron los siguientes procedimientos:

1. Utilizando la muestra total se diseñaron 13,832 ecuaciones y se seleccionaron las cuatro mejores, como arriba se señala, tanto para los dos métodos de medición como para hombres y mujeres.

TABLA 1. Características físicas de los participantes.

	Hombres, n = 135		Mujeres, n= 135	
	Media ± DE	IC 95%	Media ± DE	IC 95%
Edad (años)	22.1 ± 3.4	21.5-22.7	21.5 ± 3.9	20.8-22.1
Estatura (m)	1.72 ± 0.06	1.71-1.73	1.60 ± 0.05*	1.60-1.61
Peso (kg)	73.2 ± 11.7	71.3-75.3	65.1 ± 13.1*	62.9-67.2
IMC (kg/m ²)	24.7 ± 3.9	24.0-25.4	25.2 ± 4.5	24.4-26.0
C. cintura, (cm)	81.2 ± 8.6	79.8-82.7	76.5 ± 9.8*	74.8-78.1
Endomorfia	4.3 ± 2.4	3.9-4.8	6.5 ± 1.8*	6.2-6.8
Mesomorfia	5.1 ± 1.5	4.9-5.4	4.6 ± 1.6*	4.3-4.8
Ectomorfia	2.0 ± 1.3	1.8-2.2	1.3 ± 1.2*	1.1-1.5
P. tricipital (mm)	13.0 ± 6.9	11.8-14.3	23.1 ± 7.5*	21.9-24.5
P. subscapular (mm)	14.7 ± 8.4	13.4-16.3	22.3 ± 10.4*	20.6-23.9
P. bicipital (mm)	5.9 ± 3.9	5.2-6.6	12.5 ± 7.3*	11.2-13.7
P. iliocrestal (mm)	27.0 ± 13.4	24.8-29.4	33.8 ± 11.1*	32.0-35.5
P. supraspinal (mm)	16.6 ± 10.7	14.8-18.4	23.3 ± 9.3*	21.8-24.9
P. abdominal (mm)	25.4 ± 12.5	23.3-27.6	29.6 ± 10.8*	28.0-31.4
P. muslo frontal (mm)	13.1 ± 6.1	12.1-14.2	30.1 ± 12.3*	28.0-32.2
P. pantorrilla (mm)	10.4 ± 6.5	9.4-11.6	23.2 ± 9.8*	21.5-24.9
P. medio axilar (mm)	14.4 ± 9.3	12.9-16.1	20.4 ± 10.0*	18.7-22.0

C = circunferencia, IMC = índice de masa corporal, P = pliegues cutáneos. * p < 0.01.

Fuente: Preparado por los autores a partir de los datos del estudio.

2. Validación cruzada: Para determinación la proporción de casos de la muestra de entrenamiento vs. muestra de validación:
 - a. Se seleccionó al azar el 50% de los casos para conformar la muestra de entrenamiento, y el complemento de los casos se usó como muestra de validación, este procedimiento se realizó 500 veces para obtener el promedio de R^2 .
 - b. Se repitió el paso anterior 10 veces, incrementando el porcentaje de la muestra de entrenamiento en 5%, hasta llegar a 95%.
 - c. Se generó una gráfica de los porcentajes de muestra utilizada en cada regresión, con el fin de observar los cambios en R^2 y el momento de su estabilización (Figura 1).
 - d. El EEE para cada ecuación seleccionada se calculó usando el máximo porcentaje cuando la R^2 logró estabilizarse (70%).
3. Para descartar sesgos y observar la existencia de una distribución aleatoria de los datos en la regresión se graficaron los valores pronosticados vs los residuales de las variables que entraron en la ecuación (Figura 2).
4. Para comprobar que el modelo era el adecuado, cuando la constante (ordenada al origen) no salía significativa se eliminaba del modelo y se volvía a correr la regresión.
5. La fuerza de asociación entre el % MG medido por densitometría y bioimpedancia se realizó por regresión lineal (Figura 3 a, b).
6. Para observar sesgos y posibles diferencias entre las mediciones densitométricas y bioimpedancia se graficaron dichas diferencias por el método descrito por Bland y Altman (20) (Figura 3 c).

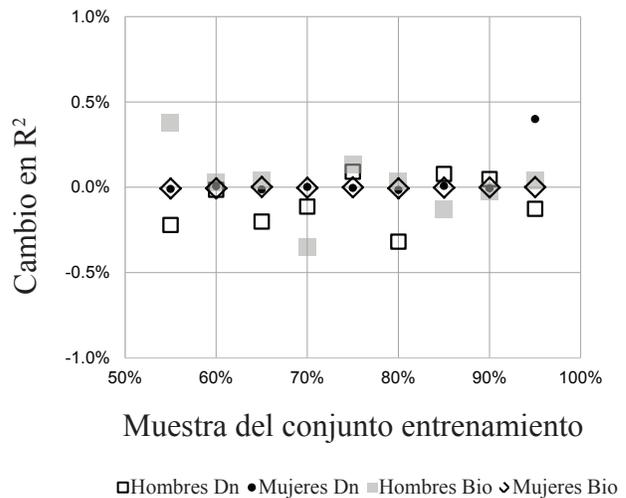


FIGURA 1. Cambios en el promedio de R^2 de las cuatro ecuaciones elegidas. Dn: Medido por densitometría, Bio: Medido por bioimpedancia.

Los análisis descriptivos, comparaciones y correlaciones se realizaron con el software estadístico SPSS versión 21.0. Para la generación de la combinatoria de las variables independientes para construir todas las posibles ecuaciones a evaluar se utilizó el lenguaje Prolog. Para realizar la validación cruzada se usó el lenguaje R.

RESULTADOS

En general, los hombres presentaron mayor peso corporal, estatura, CC y mesomorfia; las mujeres en cambio mayor endomorfia, %MG y pliegues cutáneos ($p < 0.01$, Tabla 1 y 2). El promedio de la población presentó valores antropométricos saludables: índice de masa corporal (IMC) $< 25 \text{ m/kg}^2$ y CC menor de 80 cm (Tabla 1). El somatotipo promedio en los hombres fue meso-endomórfico y en las mujeres endo-mesomórficas. El pliegue de mayor grosor fue el iliocrestal ($29.7 \pm 13.1 \text{ mm}$) y el menor el bicipital ($9 \pm 6.7 \text{ mm}$) (Tabla 1).

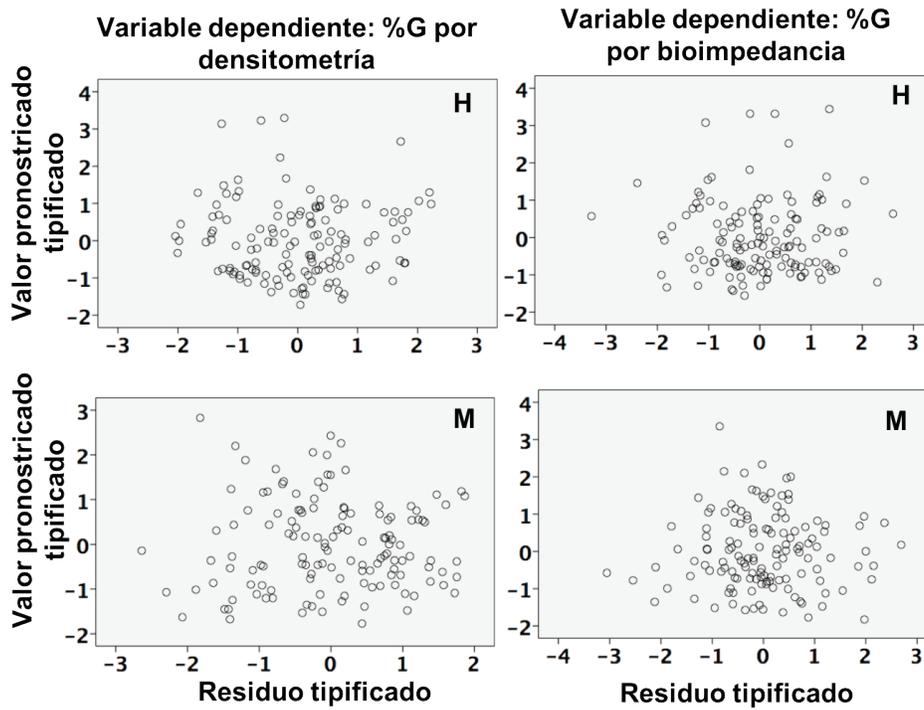


FIGURA 2. Distribución aleatoria entre los residuales de las ecuaciones de regresión lineal. % G = porcentaje de grasa, H = hombres, M = mujeres.

Fuente: Preparado por los autores a partir de los datos del estudio.

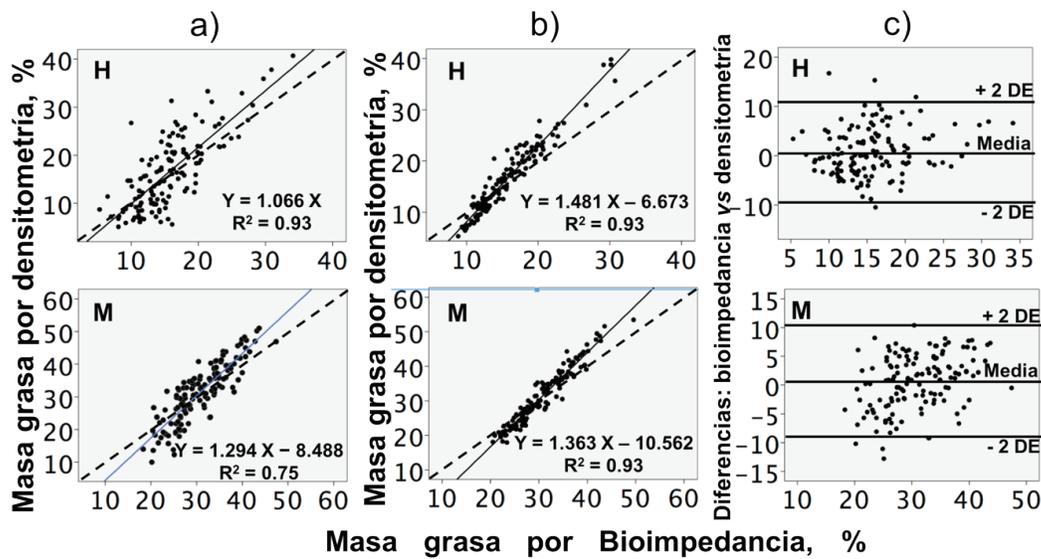


FIGURA 3. Asociación entre las variables de porcentaje de masa grasa. a) valores medidos, b) valores predichos por la ecuación, c) diferencias entre valores medidos vs predichos. Línea punteada = línea de regresión, línea continua = línea de identidad. H = hombres, M = Mujeres.

Fuente: Preparado por los autores a partir de los datos del estudio.

TABLA 2. Porcentaje de masa grasa medido y predicho por las ecuaciones de regresión.

Masa grasa (%)	Hombres, n = 135		Mujeres, n= 135	
	Media ± DE	IC 95%	Media ± DE	IC 95%
Densitometría				
Medido	16.5 ± 7.6	15.2-17.8	31.4 ± 9.0*	30.0-33.0
Predicho	16.5 ± 6.7	15.4-17.6	31.5 ± 7.9*	30.1-32.8
Bioimpedancia				
Medido	15.6 ± 5.0	14.8-16.5	30.8 ± 6.0*	29.9-31.8
Predicho	15.6 ± 4.4	14.9-16.4	30.8 ± 5.6*	29.9-31.8

* p < 0.01 Hombres vs. Mujeres.

Fuente: Preparado por los autores a partir de los datos del estudio.

Las correlaciones entre el % MG y las variables antropométricas, ya sea medido por densitometría o bioimpedancia fueron entre altos y muy altos (0.63-0.87, Tabla 3).

Las ecuaciones para la determinación del % MG a partir de mediciones antropométricas fueron las siguientes:

Hombres:

1. % MG (método densitométrico) = 26.02 + 0.26 X1 + 0.17 X2 + 0.31 X3 + 0.13 X4 - 23.59 X5.

- X1 = Circunferencia de cintura, X2 = Pliegue abdominal, X3 = Pliegue de muslo frontal, X4 Pliegue subescapular, X5 = Estatura.
- R2 = 0.78
- EEE = 3.64%
- p < 0.001

2. % MG (método de bioimpedancia) = 22.77 + 0.24 X1 + 0.11 X2 + 0.07 X3 + 0.21 X4 - 17.80 X5.

- X1 = Circunferencia de cintura, X2 = Pliegue de bíceps, X3 = Pliegue abdominal, X4 = Pliegue subescapular, X5 = Estatura.

TABLA 3. Matriz de correlaciones ajustadas (R²) entre el porcentaje de grasa y variables antropométricas.

	Bioimpedancia	Densitometría
IMC	.870*	.819*
C. cintura	.850*	.815*
Endomorfia	.699*	.730*
Mesomorfia	.634*	.610*
Ectomorfia	-.761*	-.733*
P. tricipital	.716*	.718*
P. subscapular	.823*	.814*
P. bicipital	.641*	.666*
P. iliocrestal	.626*	.687*
P. supraespinal	.781*	.809*
P. abdominal	.728*	.757*
P. muslo frontal	.671*	.730*
P. pantorrilla	.678*	.726*
P. medio axilar	.808*	.810*

C = circunferencia, IMC = índice de masa corporal, P = pliegues cutáneos. * significancia de las correlaciones p < 0.01.

Fuente: Preparado por los autores a partir de los datos del estudio.

- $R^2 = 0.76$
- $EEE = 2.48\%$
- $p < 0.001$

Mujeres:

1. % MG (método densitométrico) = $0.20 X_1 + 0.25 X_2 + 0.21 X_3 + 0.25 X_4 - 0.13 X_5$.

- X_1 = Circunferencia de cintura, X_2 = Pliegue supraespinal, X_3 = Pliegue de muslo frontal, X_4 = Pliegue medio axilar, X_5 = Pliegue bicipital.

- $R^2 = 0.98$
- $EEE = 4.02\%$
- $p < 0.001$

2. % MG (método de bioimpedancia) = $0.15 X_1 + 0.05 X_2 + 0.04 X_3 + 0.08 X_4 + 0.60 X_5$.

- X_1 = Circunferencia de cintura, X_2 = Pliegue supraespinal, X_3 = Pliegue muslo frontal, X_4 = Pliegue medio axilar, X_5 = IMC.

- $R^2 = 0.99$
- $EEE = 2.37\%$
- $p < 0.001$

Todas las variables antropométricas que entraron en los modelos de regresión se relacionaron linealmente con el % MG, medido ya sea por densitometría o impedancia bioeléctrica (Tabla 3). Además, al graficar los residuales contra los valores predichos se observó que los datos se distribuyeron de manera aleatoria Figura 2.

Los dos métodos para la determinación del % MG (densitometría y bioimpedancia) presentaron entre sí muy alta correlación: valores medidos: $R^2 > 0.75$, $EEE < 5.0\%$ (Figura 3a); valores predichos: $R^2 = 0.93$, $EEE < 2.1\%$ (Figura 3b). Además, las diferencias entre ambos métodos no mostraron un claro patrón específico, siendo aleatorias y semejantes (positivas y negativas) (Figura 3c).

DISCUSIÓN

A nuestro conocimiento este es el primer reporte diseñado para desarrollar ecuaciones antropométricas a partir de pletismografía e impedancia bioeléctrica en adultos jóvenes latinoamericanos. Si bien la muestra fue por conveniencia, la muestra fue tomada de una ciudad cosmopolita, abarcó amplios rangos de estatura (1.49 - 1.89 m), peso (40.53 - 117.1 kg), IMC (16.6 - 42.0 kg/m²) y masa grasa (5% - 51%), por lo que consideramos es representativa de la población general en las edades aquí estudiadas. Las cuatro ecuaciones aquí desarrolladas mostraron alta precisión de estimación ($R^2 \geq 0.76$, $EEE < 5\%$, $p < 0.001$). Anteriores ecuaciones antropométricas diseñadas en diversas poblaciones, validadas ya sea por peso subacuático o por DEXA han mostrado un amplio rango de asociaciones ($R^2 = 0.29 - 0.94$) y EEE menores del 5% (21,22). La mayoría de las ecuaciones antropométricas para determinar masa grasa provienen de modelos bicompartamentales, siendo el peso subacuático el método de referencia más estudiado, y en donde se han reportado índices de correlación alrededor de 0.90 (23,24). Sin embargo, a la fecha encontrábamos ecuaciones antropométricas derivadas de pletismografía, tan solo para adultos mayores (10).

Actualmente se considera que no existe un método de criterio para evaluar los compartimentos corporales, dado que la variabilidad entre métodos puede ser mayor del 5%, por lo que para fines de investigación se ha sugerido utilizar los métodos multicompartamentales (16); sin embargo, estos son sofisticados, conllevan tiempo y son costosos. Respecto al método pletismográfico, se ha encontrado que mide menores volúmenes corporales que el peso subacuático (7), y por lo tanto menores porcentajes de masa grasa ($\sim -2\%$), sin embargo, el método pletismográfico presenta valores menores EEE en pruebas test re-retest (7) y es sencillo y cómodo en su

uso. Respecto a la bioimpedancia, Cox-Reijven & Soeters (18) reportaron que mide el agua corporal total de manera similar que los métodos de dilución, obteniendo por lo tanto similares % MG; por ello su utilidad en este estudio.

La CC fue la variable que de manera sistemática ingresó en los cuatro modelos de ecuaciones; otros trabajos han encontrado resultados similares (23,24). Encontramos aquí, que el %MG aumenta conforme al peso corporal y disminuye linealmente conforme la estatura ($R^2 = 0.20$, datos no mostrados); es decir, aumenta conforme aumenta el IMC ($R^2 = 0.45$, datos no mostrados). Respecto a los pliegues cutáneos, el muslo frontal fue el más representativo para de manera independiente determinar las modificaciones en % MG, medida por densitometría o bioimpedancia; pliegue también encontrado como representativo en otros estudios (23,24). Contrario a otros estudios, el bíceps se encontró inversamente asociado con la masa grasa tanto en hombres como en mujeres (6,8). La ventaja de las ecuaciones aquí desarrolladas es que en el procedimiento para generarlas dejamos que las variables entraran de manera natural (sin transformarlas en índices) y libremente en la regresión, y se seleccionaron las ecuaciones con el factor de determinación (R^2) más alto; y para fines prácticos, con la menor cantidad de variables. A diferencia de las ecuaciones de Jackson y Pollock (23) y Weltman et al (24), las nuestras presentan un mayor R^2 . La diferencia puede ser debida a los diferentes métodos estudiados, donde el pletismográfico presenta menores EEE frente al peso subacuático.

Respecto a las asociaciones entre las diferentes variables analizadas, fueron el IMC y la CC las que mayormente se correlacionaron con el % MG, seguidos del pliegue subescapular, supraespinal y medio axilar. Se han reportado que, de las medidas antropométricas, la CC

es la principal determinante de problemas de obesidad central, hipertensión y síndrome metabólico, seguido del IMC (3), este último (IMC) especialmente en población no deportista, de aquí la importancia de incluir a la CC e IMC en las ecuaciones.

Respecto a las relaciones entre las variables antropométricas y el %MG aclaramos que la función que mejor se ajustó a los pliegues cutáneos vs %MG fue una función logarítmica (datos no mostrados), sin embargo, esta función no mejoró en más del 5% el modelo (datos no mostrados), por lo que la relación lineal, por su sencillez, sigue siendo la mejor función.

Por último, consideramos que las dos ecuaciones aquí desarrolladas son muy útiles en el campo clínico y deportivo, ya que son relativamente sencillas de utilizar, y las variables incluidas son técnicamente fáciles de obtener, beneficiándose tanto el clínico como el entrenador deportivo, paciente y deportista.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones antropométricas para la determinación de %MG aquí desarrolladas son prácticas y sencillas, presentan alta validez y confiabilidad, y son útiles para aplicarse en el campo clínico y deportivo; para utilizarse en adultos jóvenes sedentarios y físicamente activos.

LIMITACIONES

Debido a la variabilidad biológica estas ecuaciones solo pueden ser utilizadas en personas saludables entre las edades aquí estudiadas. Además, los modelos bi-compartamentales como la densitometría supone densidades iguales de la masa grasa y masa libre de grasa entre los individuos, sin embargo, se ha observado que dichas densidades se modifican

conforme la edad y sexo, entre otros factores (25); por lo que estas ecuaciones se encuentran sujetas al error estándar pletismográfico y de bioimpedancia.

REFERENCIAS

1. Heath BH, Carter JE. A modified somatotype method. *Am J Phys Anthropol.* 1967;27(1):57-74.
2. Kannel WB, Dawber TR, Kagan A, Revotskie N, Stokes J. Factors of Risk in the Development of Coronary Heart Disease—Six-Year Follow-up experience: the Framingham Study. *Ann Intern Med,* 55(1), 33-50.
3. Wall-Medrano A, Ramos-Jiménez A, Hernandez-Torres RP, Villalobos-Molina R, Tapia-Pancardo DC, Jiménez-Flores R, et al. Cardiometabolic risk in young adults from northern Mexico: Revisiting body mass index and waist-circumference as predictors. *BMC Public Health.* 2016;16:236. DOI 10.1186/s12889-016-2896-1.
4. Borkan GA, Gerzof SG, Robbins AH, Hulst DE, Silbert CK, Silbert JE. Assessment of abdominal fat content by computed tomography. *Am J Clin Nutr.* 1982;36(1):172-77.
5. Fuller NJ, Hardingham CR, Graves M, Sreaton N, Dixon AK, Ward LC, et al. Assessment of limb muscle and adipose tissue by dual-energy X-ray absorptiometry using magnetic resonance imaging for comparison. *Int J Obes.* 1999;23:1295-302.
6. Lozano-Berges G, Gómez-Bruton A, Matute-Llorente Á, Julián-Almárcegui C, Gómez-Cabello A, González-Agüero A, et al. Assessing Fat Mass of Adolescent Swimmers Using Anthropometric Equations: A DXA Validation Study. *Res Q Exerc Sport.* 2017;88(2):230-36.
7. Collins MA, Millard-Stafford ML, Sparling PB, Snow TK, Roskopf LB, Webb SA, Omer J. Evaluation of the BOD POD for assessing body fat in collegiate football players. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(9):1350-56.
8. Isjwara RI, Lukito W, Schultink JW. Comparison of body compositional indices assessed by underwater weighing, bioelectrical impedance and anthropometry in Indonesian adolescent girls. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2007;16(4):641-48.
9. Conway JM, Norris KH, Bodwell CE. A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am J Clin Nutr.* 1984;40(6):1123-130.
10. Huerta RH, Esparza-Romero J, Urquidez R, Pacheco BI, Valencia ME, Alemán-Mateo, H. (2007). Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *Arch Latinoam Nutr.* 2007;57(4): 357-65.
11. Norton K, Olds T. *Anthropometrica: A textbook of body measurement for sports and health courses.* Ed. University of New South Wales Press. Australia. 1996. p, 413.
12. Macias N, Alemán-Mateo H, Esparza-Romero J, Valencia ME. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutr J.* 2007;6(1):18. DOI: 10.1186/1475-2891-6-18
13. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition. Proceedings of a conference Quartermaster Research and Engineering Command.* Ed. Josef Brozek. National Academy of Science. USA. 1961; 223-244 p.
14. Stocks J, Quanjer PH. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. *Eur Respir J.* 1995;8(3):492-506.
15. McCrory MA, Molé PA, Gomez TD, Dewey KG, Bernauer EM. Body composition by air-displacement plethysmography by using

- predicted and measured thoracic gas volumes. *J Appl Physiol.* 1998;84(4):1475-79.
16. Aleman-Mateo H, Huerta RH, Esparza-Romero J, Mendez RO, Urquidez R, Valencia ME. Body composition by the four-compartment model: validity of the BOD POD for assessing body fat in Mexican elderly. *Eur J Clin Nutr.* 2007;61(7):830-36.
 17. Benton MJ, Swan PD, Schlairet MC, Sanderson S. Comparison of body composition measurement with whole body multifrequency bioelectrical impedance and air displacement plethysmography in healthy middle-aged women. *Health Care Women Int.* 2011;32(12):1068-78.
 18. Cox-Reijven PL, Soeters PB. Validation of bio-impedance spectroscopy: effects of degree of obesity and ways of calculating volumes from measured resistance values. *Int J Obes.* 2000;24:271-80.
 19. Rush EC, Chandu V, Plank LD. Prediction of fat-free mass by bioimpedance analysis in migrant Asian Indian men and women: a cross validation study. *Int J Obes.* 2006;30(7):1125-31.
 20. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *Lancet.* 1986;1:307-10. <https://www-users.york.ac.uk/~mb55/meas/ba.pdf>
 21. Cui Z, Truesdale KP, Cai J, Stevens J. Evaluation of anthropometric equations to assess body fat in adults: NHANES 1999-2004. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(6):1147-58.
 22. Thorland WG, Johnson GO, Tharp GD, Fagot TG, Hammer RW. Validity of anthropometric equations for the estimation of body density in adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;16(1):77-81.
 23. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Brit J Nutr.* 1978;40(3):497-504.
 24. Weltman A, Levine S, Seip RL, Tran ZV. Accurate assessment of body composition in obese females. *Am J Clin Nutr.* 1988;48(5):1179-83.
 25. Williams DP, Going SB, Massett MP, Lohman TG, Bare LA, Hewitt MJ. Aqueous and mineral fractions of the fat-free body and their relation to body fat estimates in men and women aged 49-82 years. In *Human Body Composition*. Ed. Springer USA. 1993. pp 109-13.

Recibido: 13-01-2018

Aceptado: 15-04-2018