

Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores

Raquel Huerta Huerta, Julián Esparza-Romero, Rene Urquidez, Bertha I Pacheco, Mauro E. Valencia y Heliodoro Alemán-Mateo

Departamento de Nutrición y Metabolismo. Coordinación de Nutrición. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A.C.). Hermosillo, Sonora, México

RESUMEN. Se diseñó y validó una ecuación de predicción basada en antropometría para estimar la masa grasa en adultos mayores, usando como método de referencia el modelo de 4 compartimientos (4C). Se incluyeron 202 sujetos = 60 años. Se midió el agua corporal total por dilución con oxido de deuterio, contenido mineral óseo por DEXA y la densidad corporal por pletismografía de desplazamiento de aire. Para el diseño y validación la muestra se dividió aleatoriamente. En la sub-muestra uno se generaron los modelos de predicción de la masa grasa, los cuales se aplicaron en la sub-muestra dos. La exactitud y precisión se probó por análisis de regresión simple y el sesgo mediante la prueba de Bland y Altman y regresión lineal simple. La ecuación incluyó peso corporal, sexo, pliegue del tríceps y pantorrilla; con una R^2 , un error estándar del estimador y el estadístico de Mallow (C_p) de 0.86, 3.2 y 3.2, respectivamente. En la sub-muestra dos se observó equivalencia entre los métodos, con un intercepto no estadísticamente diferente de cero ($p > 0.05$) y pendiente diferente de cero ($p < 0.05$) o similar a 1. La ecuación explicó un 86% de la varianza de la media de la masa grasa determinada por el modelo de 4C, asimismo no presentó sesgo significativo tanto en la muestra total y por sexo. La ecuación generada puede ser de gran utilidad para estimar la composición corporal de adultos mayores con características similares al grupo estudiado, utilizando mediciones antropométricas simples de medir. Así mismo puede ser aplicada en estudios clínicos y epidemiológicos en este grupo poblacional. **Palabras clave:** Grasa corporal, pliegues cutáneos, antropometría, ecuación de predicción, adulto mayor.

SUMMARY. Validity of an equation based on anthropometry to estimate body fat in older adults. A prediction equation to estimate body fat mass from skinfold thickness for healthy elderly was developed using a four compartmental (4C) model as criterion method. This study included 202 subjects = 60 y old. The measurements of total body water, bone mineral content and body density were included in the 4C model equation. Total sample was randomly partitioned. Sub-sample one was used to design the equations, which were applied in sub-sample two. Its accuracy and precision was evaluated by lineal regression analysis and the bias by Bland and Altman analysis and simple lineal regression. The best model included body mass, sex and the calf and triceps skinfolds thicknesses, with an R^2 , standard error of the estimate and C_p of 0.85, 3.2 and 3.2, respectively. When the equation was applied in sub-sample two, it was accurate and precise, it showed no significant deviation from the line of identity (the intercept was no significantly different from zero, $P > 0.05$), and slope was different from zero (or similar to 1) ($P < 0.05$). Fat mass by the equation accounted for 86% of the variability of the mean fat mass estimated by the 4C model, having a low standard error of the estimate (3.2 kg) and low pure error (3.1 kg). The new equation was accurate and precise as well as free of significant bias in men and women together and for separately. This equation can be a good option to estimate fat mass in elderly men and women with similar physical characteristics to subjects of this study, and it can be used in clinical and epidemiological studies in this growing group. **Keywords:** Body fat, skinfold thickness, anthropometry, predictive equation, elderly.

INTRODUCCION

En las últimas décadas el estudio de la composición corporal en adultos mayores ha sido de interés en investigaciones relacionadas al área de la salud. El proceso normal de envejecimiento está asociado a cambios biológicos y de estilo de vida, los cuales pueden influenciar la composición corporal y finalmente el estado de salud (1,2). Se reconoce que a

mayor edad, existe un aumento y redistribución de la grasa corporal y una disminución de la masa muscular, del contenido mineral óseo y del agua corporal total (ACT) (3). Es indudable que estos cambios en la composición corporal pueden tener un impacto negativo para la salud y calidad de vida de los adultos mayores.

Actualmente existen diversos métodos para evaluar la composición corporal en diferentes grupos de edad; sin embargo, su validez es cuestionable en ciertas poblaciones como la de adultos mayores (4,5). La mayoría de las metodologías disponibles, se basan en un modelo de dos compartimientos, el cual divide al cuerpo en masa grasa (MG) y masa corporal libre de grasa (MCLG). Dicho modelo considera densidades

La presente investigación se realizó con el apoyo de CONACYT (J37891-M), la IAEA (Research contract No. 12694/R0) y del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD, A.C).

constantes para la MG y la MCLG y un factor de hidratación fijo para la masa corporal libre de grasa (6). Algunos investigadores señalan que los métodos basados en este modelo como la hidrodensitometría o pesado bajo el agua y el ACT no aportan valores confiables en poblaciones mayores de 60 años, debido a los cambios en la densidad e hidratación de la MCLG (7,8). Asimismo, se han extendido estas limitaciones a los métodos prácticos como los pliegues cutáneos o bioimpedancia eléctrica, que en gran medida se han validado contra los modelos de dos compartimientos principalmente densitometría y el ACT (9-11).

La composición corporal en adultos mayores y otros grupos se puede evaluar confiablemente mediante el modelo de 4 compartimientos. Este modelo incluye las determinaciones independientes de la densidad o volumen corporal, la masa mineral ósea y el ACT. Es importante señalar que los dos últimos componentes son los más afectados por el proceso de envejecimiento (12,13). Así mismo, este modelo permite una estimación más exacta y precisa de la composición corporal en adultos mayores, al considerar el efecto de la edad sobre los componentes antes mencionados. Sin embargo, dada su complejidad y altos costos de los equipos para medir cada una de los componentes corporales requeridos, el estudio de la composición corporal con este modelo ha sido difícil de desarrollarse en países de América Latina. Se ha recomendado que el modelo de 4C se utilice como estándar de referencia para la validación de métodos basados en la densitometría e hidrometría y de los métodos de campo como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría (9,14,15).

Una de las técnicas más usadas para estimar la grasa corporal es la antropometría, ya sea, a partir de la medición de pliegues cutáneos (plicometría) o de circunferencias. En el caso de la plicometría, generalmente es necesario medir uno o más pliegues cutáneos para calcular la densidad corporal utilizando una ecuación previamente validada, para posteriormente estimar el porcentaje de grasa. La ecuación publicada por Durnin y Womersley (16) para estimar la densidad corporal es una de las más utilizadas para este propósito. Sin embargo, cabe señalar que esta ecuación se desarrolló con base en los resultados de la hidrodensitometría de una población de escoceses saludables de 16 a 72 años. Lo anterior ha sido considerado una de las posibles causas de su inexactitud cuando se aplican a los adultos mayores de otras regiones del mundo (9,10,17).

Se ha señalado que la confiabilidad de las ecuaciones para estimar la composición corporal depende de la exactitud del método de referencia y de la etnicidad (18). En el caso de la plicometría, la exactitud también depende del cambio en la compresibilidad de la piel que se presenta durante el envejecimiento (19). Por lo cual, se ha recomendado que las ecuaciones se diseñen y validen para grupos específicos, utilizando como método de referencia el modelo de 4C (9).

Actualmente se han publicado alrededor de cuatro estudios

que han desarrollado ecuaciones basadas en pliegues cutáneos para estimar la grasa corporal en adultos mayores, utilizando los modelos de múltiples compartimientos como métodos de referencia (9,20,21,22). En dos de estos estudios se generaron ecuaciones específicas para personas mayores de 60 años, pero sólo en el estudio de Gause-Nilsson y Dey se generaron y validaron ecuaciones para estimar el porcentaje de grasa en adultos Suecos de 75 años. Además de diseñar y validar sus ecuaciones, los investigadores compararon ecuaciones publicadas contra el modelo de múltiples compartimientos. Es importante mencionar que a pesar de que Gause-Nilsson y Dey reportaron que la ecuación generada mostró buena concordancia con la grasa corporal determinada por el modelo de 4C, la exactitud, al aplicarse en otras poblaciones geriátricas, puede verse afectada debido a que esta ecuación proviene de una muestra con una edad muy específica (75 años). Asimismo, se concluyó que las ecuaciones previamente publicadas, producen diferentes valores de grasa corporal cuando se aplican a poblaciones distintas de las cuales fueron originadas. Por lo que las ecuaciones para poblaciones específicas serán las preferidas para obtener mejores estimadores de composición corporal. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar y validar ecuaciones para estimar la grasa corporal a partir de variables antropométricas como peso corporal y pliegues cutáneos utilizando el modelo de cuatro compartimientos como método de referencia.

MATERIALES Y METODOS

Se conformó un grupo de 283 personas mayores de 60 años seleccionados de manera intencional. Los voluntarios fueron residentes de la zona urbana (80%) y de algunas regiones rurales del estado de Sonora, México (20%). Los adultos mayores se contactaron en diversos clubes y centros de reunión para personas de la tercera edad. Otros fueron abordados en las calles y en hogares referenciados. En la primera entrevista se hicieron preguntas para conocer el estado de salud, al mismo tiempo se explicó detalladamente el protocolo de estudio. Después de que los sujetos referido sentirse saludables y además con deseos de participar, se invitaron por primera vez al Laboratorio de Muestras Biológicas de la Coordinación Nutrición del CIAD, A.C., donde se realizaron diversos exámenes de laboratorio y la historia clínica completa de cada participante, con el objetivo de aplicar criterios de inclusión/exclusión (Sin evidencia clínica de enfermedades o el consumo de medicamentos que pudieran afectar las mediciones de composición corporal).

Criterios de exclusión

No participaron en el estudio los individuos que en la primera entrevista mencionaron tener algún diagnóstico médico como hipo e hipertiroidismo, diabetes tipo 2, isquemia, angina de pecho

e hipertensión arterial y con tratamiento de diuréticos. Por los objetivos del estudio no se incluyeron a aquellos en silla de rueda o con problemas para la ambulación, lenguaje y audición. También se excluyeron aquellos con edema y/o ascitis.

Criterios de inclusión

Se incluyeron para el análisis 202 adultos mayores de 60 años con independencia física, evaluada con la escala de Katz (23). Todos se consideraron aparentemente saludables, bajo los resultados de la prueba de tolerancia a la glucosa, presión arterial, hemoglobina en sangre, perfil de lípidos, hematocrito, osmolaridad sérica, examen parcial de orina, electrocardiograma e historia clínica, bien hidratados con osmolaridad sérica entre 275-300 mOsm/L y hematocrito de 38-55% en hombres y de 36-52% en mujeres. Los voluntarios refirieron tener un peso estable de ± 2 kg los seis meses previos a la fecha de estudio. Los voluntarios estuvieron orientados en espacio y tiempo de acuerdo a la escala Pfeiffer (24).

Mediciones antropométricas

La estatura se midió de pié y sin zapatos, utilizando para ello un estadiómetro Holtain (Holtain Ltd, Crowell, Crymich, UK) y el peso en una balanza electrónica digital bajo las condiciones descritas abajo para el BOD-POD. La circunferencia de la cintura se midió en el punto inmediato del borde superior de la cresta ilíaca y la de cadera se midió en la parte más prominente de los glúteos. Ambas mediciones se realizaron con el sujeto de pie y utilizando para ello una cinta métrica de fibra de vidrio (Lafayette Instruments Company Inc., Lafayette, IN, USA). Estas mediciones antropométricas se hicieron de acuerdo a las recomendaciones de Durnin, (1989).²⁶ El índice de masa corporal (IMC) se calculó a partir de la fórmula peso/talla² (kg/m²).

Las mediciones del pliegue cutáneo bicipital, tricipital, subescapular, suprailiaco, abdominal, pierna y pantorrilla se realizaron con el plicómetro Holtain (Holtain Ltd, Crowell, Crymich, UK). Con respecto a la plicometría, se ha señalado que al medir los pliegues cutáneos se producen errores debidos a la variabilidad inter-observador.¹⁹ Para este estudio los medidores de pliegues se estandarizaron previamente. Es importante mencionar, que no se encontraron diferencias significativas en las variables de interés entre medidores. Todos los pliegues se tomaron de acuerdo a las técnicas recomendadas (25,26).

Para fines prácticos, a continuación se describen los sitios anatómicos en donde se tomaron los pliegues cutáneos que entraron en los modelos como variables que estiman la grasa corporal. El pliegue de la pantorrilla se midió de acuerdo a la recomendación de Norton y cols. (25) solo que en este estudio el sujeto permaneció de pié con la pierna izquierda ligeramente flexionada. El panículo se tomó verticalmente en la región más pronunciada de la pantorrilla, particularmente en parte

lateral interna de la pantorrilla (músculo gemelo) del pie izquierdo. El pliegue tricipital se localizó en el punto medio del acromion y el olécranon, mientras el brazo formaba un ángulo recto; éste se midió verticalmente y paralelo a la línea axial de la parte superior del brazo, particularmente a la altura de músculo del tríceps (25,26).

Composición corporal

Se evaluó el porcentaje de grasa corporal por el modelo de 4C reportado por Baumgartner y cols. (27) y de acuerdo a la metodología publicada previamente. Brevemente, la densidad corporal (D_c) se calculó a partir de las mediciones del volumen y la masa corporal determinados por pletismografía de desplazamiento de aire, BOD-POD (BOD-POD Body Composition System, Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA). El volumen corporal (V_c) y el volumen de gas torácico (V_{GT}) se midieron con el sujeto en traje de baño y con gorra para natación. El V_c corregido se obtuvo automáticamente por el software al considerar el V_c bruto, el área superficial del artefacto y el V_{GT} . Bajo las mismas condiciones, se midió el peso corporal en una balanza electrónica digital (parte del sistema del BOD POD). Finalmente, la D_c fue calculada de manera automática por el equipo, a partir de la relación masa (peso corporal) y el V_c . El ACT se determinó mediante el método de dilución con óxido de deuterio después de administrar una dosis única vía oral de 3.0 g, enjuagando con 5 mL de agua purificada. El ACT se calculó mediante el principio de dilución, utilizando para ello las concentraciones del isótopo estable en las muestras de saliva basales y enriquecidas (postdosis). El ACT se corrigió por el intercambio isotópico (4%) en otros compartimentos no acuosos (28). Las cenizas corporales óseas totales (CCOT) se midieron por densitometría ósea utilizando para ello el equipo Lunar DPX-MD+densitometer (Lunar Radiation Corp; Madison, WI, USA). Para estimar la masa mineral corporal total (MMCT), el valor de las CCOT se multiplicó por 1.279 (9). Antes de cada medición el BOD POD y el DEXA se calibraron de acuerdo a las indicaciones de los proveedores.

Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva para caracterizar las variables antropométricas y de composición corporal. El desarrollo y validación de las ecuaciones para estimar la grasa corporal, se realizó en dos sub-muestras de igual tamaño, obtenidas aleatoriamente a partir de la muestra total. Para evaluar las diferencias de cada una de las variables entre hombres y mujeres en la muestra total y entre las dos sub-muestras se utilizó una prueba *t* de student para muestras independientes.

Se eligieron aleatoriamente las sub-muestras para el desarrollo (sub-muestra 1) y validación de la ecuación (sub-muestra 2). La selección de los modelos de predicción se realizó por regresión lineal múltiple, utilizando para ello la técnica

de “Todas las regresiones posibles”. Se consideraron como posibles variables predictoras por su relación con la MG: edad, peso, talla, género, los pliegues cutáneos (tricipital, bicipital, subescapular, suprailiaco, pliegues de la pierna, de la pantorrilla y el abdominal), así como el logaritmo de la suma de los pliegues tricipital, bicipital, subescapular y suprailiaco. A partir de este proceso se obtuvieron varios modelos, de los cuales se eligieron aquellos que tuvieran conjuntamente valores altos de la R^2 , bajos valores en el error estándar del estimador (EES) y valores de Mallow (C_p) similares al número de variables en cada uno de los modelos generados. Una vez seleccionados los modelos, las variables seleccionadas se sometieron al análisis de regresión lineal múltiple para observar su significancia estadística. Posteriormente, se realizó el diagnóstico del modelo para probar los supuestos de la regresión lineal. En este caso, la *linealidad* se evaluó mediante un análisis de regresión simple, la *homogeneidad de la varianza* y la presencia de valores atípicos se observó mediante gráfica de residuales *versus* los valores predichos de modelo, la *normalidad* de los residuales mediante la gráfica de normalidad. Adicionalmente se evaluó la ausencia de *colinealidad*, mediante el factor de inflación de la varianza, < 10 .

Una vez probada la significancia de las variables incluidas en el modelo y haber cumplido con los supuestos de la regresión lineal, el modelo resultante se aplicó en la sub-muestra 2 para estimar la grasa corporal. La validación de la nueva ecuación, generada se realizó por medio de regresión lineal simple, al considerar la grasa corporal determinada por el modelo de 4C como variable dependiente y los valores de grasa corporal obtenidos por la ecuación generada basada en pliegues cutáneos como variable independiente. La nueva ecuación se consideró equivalente cuando el intercepto no fue estadísticamente diferente de cero y la pendiente estadísticamente diferente de cero o igual a uno, respectivamente. El error puro se utilizó como una prueba adicional para probar exactitud. Un valor del error puro cercano al valor del EES de la ecuación en la muestra de origen indicó la exactitud de la ecuación. La exactitud a nivel grupal de la ecuación desarrollada con respecto al modelo de 4C se probó mediante un análisis de varianza de dos vías, en el cual se incluyó la variable de género y método. También se probó la interacción entre género y método para observar si las diferencias entre métodos eran modificados por ser hombre o mujer. La precisión se evaluó mediante los valores de R^2 y el error estándar de estimador como se explicó previamente.

Finalmente, se evaluó el sesgo mediante el análisis de Bland y Altman (29) y el análisis de regresión simple, usando el promedio de las diferencias entre la grasa corporal determinado por ambos métodos como variable dependiente contra el promedio de ambos métodos como variable independiente. Todas los análisis estadísticos se probaron a un nivel de significancia de 0,05, con el paquete estadístico NCSS ver-

sión, 2000 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville UTA).

RESULTADOS

Para el análisis de la composición corporal por el modelo de 4C, así como para el desarrollo y validación de la ecuación se contemplaron 202 adultos mayores saludables (100 hombres y 102 mujeres) de edades comprendidas entre 60 a 89 años. En la Tabla 1 se muestran las características físicas por género. Se encontraron diferencias significativas en casi todas las variables entre hombres y mujeres, excepto en la edad y la circunferencia de cintura. Los hombres presentaron valores significativamente más altos en talla, peso, volumen corporal, cenizas óseas corporales totales, ACT y MCLG y valores menores de grasa corporal en relación a las mujeres. El promedio total de IMC fue de 27,0 con un rango de 12,6 a 42,7 kg/m². El promedio de grasa corporal medido por el modelo de 4C fue de 26,3 kg con un mínimo de 3,7 kg y un máximo de 61,4 kg.

TABLA 1
Características físicas de los adultos mayores

Variables	Hombres (n = 100) X ± DE	Mujeres (n = 102) X ± DE	P
Edad (años)	69,1 ± 6,3	69,0 ± 6,8	NS
Peso (kg)	74,1 ± 12,3	66,9 ± 13,0	0,0001
Talla (cm)	168,6 ± 6,2	155,0 ± 5,8	0,01
IMC (kg/m ²)	25,9 ± 3,5	27,7 ± 4,9	0,01
Circ. cintura (cm)	97,1 ± 9,4	94,9 ± 14,7	NS
Circ. de cadera (cm)	96,2 ± 6,50	103,2 ± 11,0	0,0001
Σ de los 4 pliegues (mm)	59,6 ± 17,5	74,8 ± 20,1	0,0001
Densidad corporal g/cm ³	1,026 ± 0,014	1,002 ± 0,013	0,0001
ACT (kg)	37,9 ± 5,7	28,6 ± 4,6	0,0001
COCT (kg)	3,6 ± 0,5	2,6 ± 0,4	0,0001
MCLG (kg)	50,5 ± 7,1	37,8 ± 5,4	0,0001
MG (kg)	23,6 ± 7,8	29,1 ± 9,1	0,0001

Los valores se expresan en media ± desviación estándar.

IMC = Índice de masa corporal, ACT = Agua corporal total,

COCT = Cenizas óseas corporales totales, MCLG = Masa corporal libre de grasa y MG = Masa grasa determinadas por el modelo de 4C.

La Tabla 2 muestra las características de los sujetos de las sub-muestras 1 y 2. Ambas sub-muestras se constituyeron de 101 sujetos (50 hombres y 51 mujeres). Los valores promedio de las variables independientes no fueron estadísticamente diferentes entre sub-muestras ($p > 0,05$). Mediante el método de “Todas las regresiones posibles”, se obtuvieron tres modelos con los valores más altos de R^2 y valores más bajos del EES, los cuales incluyeron el sexo y peso corporal como variables en común. El primer modelo incluyó el pliegue de la pantorrilla y pliegue tricipital; el segundo modelo incluyó el pliegue del bíceps y la sumatoria de los cuatro pliegues cutáneos; el tercer modelo incluyó a los pliegues del tríceps y

bíceps. Estos modelos se sometieron al análisis de regresión múltiple para probar la significancia estadística de cada una de las variables dentro del modelo, seleccionadas preliminarmente. El primer modelo fue el único que demostró una contribución significativa ($p < 0,05$) de todas las variables incluidas. Además los valores de R^2 y F-total fueron los más altos al compararlos con los otros dos modelos (0,86 y 142, respectivamente) y el EES fue el menor (3,2 kg) (Tabla 3).

TABLA 2
Características generales de las muestras de diseño y validación de la ecuación

Variables	Sub-muestra 1 <i>n</i> = 101	Sub-muestra 2 <i>n</i> = 101	Probabilidad
Edad (años)	69,4 ± 6,5	68,0 ± 6,4	0,90
Peso (kg)	71,1 ± 13,7	69,7 ± 14,3	0,90
Talla (m)	1,62 ± 0,009	1,61 ± 0,009	0,90
IMC (kg/m ²)	27,2 ± 4,7	26,5 ± 4,7	0,90
Pliegues cutáneos (mm)			
Tríceps	18,6 ± 6,1	17,3 ± 6,2	0,90
Bíceps	9,1 ± 4	8,6 ± 4,04	0,80
Subescapular	19,8 ± 0,68	18,9 ± 0,8	0,90
Suprailiaco	21,2 ± 7,7	20,1 ± 7,9	0,80
Abdominal	27,3 ± 7,4	26,2 ± 7,8	0,80
Pantorrilla	15,0 ± 7,6	14,1 ± 7,1	0,90
Pierna	19,4 ± 0,9	18,5 ± 9,5	0,80
Σ 4 pliegues	68,8 ± 20,9	65,0 ± 21,3	0,90

Los valores se expresan en media ± desviación estándar.
IMC = Índice de masa corporal.

TABLA 3
Análisis de regresión para el desarrollo de la ecuación basada en pliegues cutáneos

Modelo	Nº de variables seleccionadas	Variables	CR	F Parcial*	F Total	R ²	R ² _{AC}	EES	Cp
1	4	Peso	0,52	20,27	142,3	0,85	0,84	3,2	3,2
		Sexo	-6,05	35,39					
		P.Bíceps	0,35	9,39					
		P. Pantorrilla	0,16	6,5					

CR = Coeficiente de regresión; R² = Coeficiente de determinación; EES = Error estándar del estimador; Cp = Coeficiente de Mallows * $p < 0,05$

El modelo elegido cumplió con todos los supuestos establecidos para la regresión lineal (18). Las variables incluidas en el modelo no demostraron colinealidad (valor de inflación de varianza menor a 10, para todas las variables). Se comprobó la linealidad de todas las variables predictoras en función de la variable de respuesta. La varianza del estimador fue constante para todos los valores de las variables predictoras y no se encontraron valores atípicos. De acuerdo con la gráfica de normalidad se comprobó que el error del estimador mostró un comportamiento normal. A continuación se muestra el

modelo seleccionado para estimar la masa grasa.

$$MG \text{ (kg)} = (0,165 \times PP) + (0,355 \times PB) + (0,521 \times PC) - (6,054 \times S) - 13,171$$

Donde MG es la masa grasa expresada en kg, PP es el pliegue de la pantorrilla en mm, PB es el pliegue del bíceps en mm, PC es el peso corporal expresado en kg y S el sexo (mujeres= 0 y hombres=1).

La exactitud de la ecuación se evaluó a nivel grupal mediante un análisis de varianza. En la Tabla 4 se muestra solo un efecto del sexo, lo que significa que las mujeres tienen un promedio de grasa significativo más alto que el encontrado en hombres. No se encontró efecto del método, lo que significa que el valor promedio de grasa estimado por la ecuación generada no fue diferente ($p > 0,05$) respecto a los valores obtenidos por el modelo de 4C, tanto en hombres como en mujeres por separado o en conjunto. Tampoco se encontró una interacción entre método y género sobre lo valores promedio de grasa.

TABLA 4
Masa grasa estimada por la ecuación generada y por el modelo de 4C

Métodos	Todos <i>n</i> = 101 X ± DE	Hombres <i>n</i> = 50 X ± DE	Mujeres <i>n</i> = 51 X ± DE
Modelo de 4C	25,20 ± 0,9	22,2 ± 1	28,1 ± 1,3
Ecuación generada	25,5 ± 0,8	22,9 ± 1,08	28,0 ± 1,3

Comparación de la media grupal de la masa grasa (kg) estimada por la ecuación generada y la obtenida por el modelo de 4C. Resultado del análisis de varianza de dos vías.

Al evaluar la exactitud a nivel individual de la nueva ecuación basada en pliegues se observó que la línea de regresión no difirió de la línea de identidad, en toda la muestra y en el grupo de hombres y mujeres por separado (Figura 1). El intercepto no fue significativamente diferente de cero y la pendiente fue similar a uno (Tabla 5). Lo que indica que hubo equivalencia entre las estimaciones de grasa corporal por la ecuación generada y los obtenidos por el método de referencia. Asimismo, la exactitud de la ecuación se corroboró por medio del error puro, el cual fue similar al valor de EES de la nueva ecuación (Tabla 5). Lo anterior indica que el error de las ecuaciones no aumentó al estimar el porcentaje de grasa en la muestra de validación. La precisión de la ecuación evaluada por la R² estuvo dentro del rango de 81% a 86% para hombres y mujeres. Adicionalmente, de acuerdo con los análisis de Bland y Altman y de regresión lineal simple, la ecuación no presentó sesgo significativo, en la muestra total y al evaluar por separado el grupo de hombres y mujeres (Figura 2). En todos los casos el promedio de las diferencias entre ambos métodos fue cercano a cero y los límites de concordancia estuvieron dentro de un rango aceptable.

TABLA 5

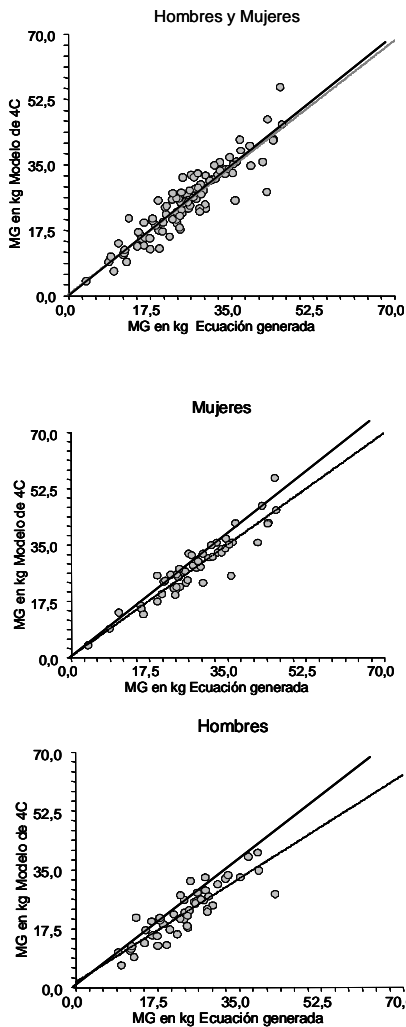
Resultado del análisis de regresión entre los valores de masa grasa estimados por la ecuación y los obtenidos por el modelo de 4C en el grupo de hombres y mujeres.*

Ecuación generada	R ²	Intercepto (kg)	Pendiente (kg)	EES (kg)	Error puro (kg)
Ambos	0,84	0,3 ± 1,1	0,97 ± 0,04	3,2	3,1
Hombres	0,79	1,1 ± 1,6	0,88 ± 0,06	3,7	3,5
Mujeres	0,87	0,4 ± 1,5	0,99 ± 0,05	3,4	3,2

*Exactitud individual, kg de MG por el modelo de 4C y por la nueva ecuación. Intercepto no significativamente diferente de cero y pendiente significativamente diferente de cero o igual a 1.

FIGURA 1

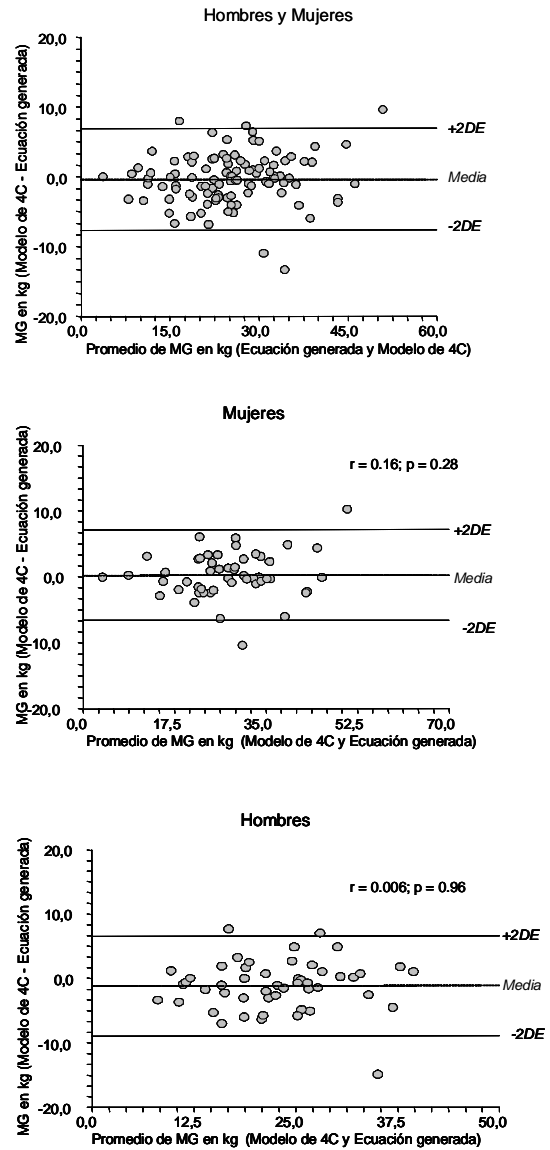
Exactitud de la nueva ecuación basada en antropometría en la muestra total y por sexo



La línea punteada representa la línea de regresión, la línea continua representa la línea de identidad.

FIGURA 2

Sesgo de la nueva ecuación basada en antropometría respecto al modelo de 4C en la muestra total y por sexo



La línea intermedia representa la media de las diferencias entre los dos métodos, las líneas de los extremos representan los límites de confianza (la media de las diferencias ± 2 DE).

DISCUSION

En el presente trabajo se diseñó y validó una ecuación basada en antropometría incluyendo las variables de peso corporal y dos pliegues cutáneos (además de la variable sexo) para estimar la masa grasa en adultos mayores del Noroeste de México. Actualmente existen pocos estudios que han usado

el modelo de 4C para el diseño y validación de ecuaciones, ninguno de estos se ha reportado en Latinoamérica. Lo anterior es de relevancia, pues en países en vías de desarrollo, recientemente se ha dado mayor importancia a la evaluación de la composición corporal de los individuos, como parte de la valoración integral de la salud y el estado de nutrición. Sin embargo, no se cuenta con la infraestructura para el uso de tecnologías de vanguardia en la mayoría de las instituciones de salud. En México, la mayoría de las clínicas y algunos centros de salud cuentan con las herramientas para realizar mediciones de peso, talla y plicometría. La ecuación generada en este estudio se basa en una técnica práctica, de bajo costo y de acuerdo a los resultados pueden ser confiables en poblaciones con características similares a las de este estudio, por lo que su uso será viable a nivel clínico y en estudios epidemiológicos.

La confiabilidad de esta ecuación se basa primero: en que fue diseñada y validada utilizando como método de referencia el modelo de 4C, el cual disminuye los errores debidos a la variabilidad biológica de los componentes de la MCLG de los adultos mayores. Se ha reportado que esta variabilidad se ve afectada principalmente por la pérdida del contenido mineral óseo (componente más denso) y del ACT (componente más abundante). Segundo, esta ecuación se diseñó en una muestra que incluyó adultos mayores con un amplio rango de edad e IMC (60 a 89 años y 16,3-36,2 kg/m², respectivamente) saludables y bien hidratados.

Con respecto a la antropometría, particularmente la plicometría, se ha señalado que al medir los pliegues cutáneos se producen errores debidos a la variabilidad inter-observador, pero esto se puede reducir en gran medida al estandarizar a las personas que van a realizar las mediciones.¹⁹ Para minimizar este tipo de errores inherentes al método, en este estudio las mediciones de pliegues fueron realizadas por dos técnicos y dos nutriólogos previamente estandarizados. De acuerdo a los resultados no se encontraron diferencias significativas entre medidores. Adicionalmente, la medición de los pliegues se realizó por triplicado, para asegurar la precisión intra-observador.

Existen algunas ecuaciones basadas en plicometría para ser usadas en adultos mayores y otras que se usan sin distinción de edad (16,20-22). Sin embargo, la mayoría provienen de poblaciones caucásicas y las cuales se han desarrollado utilizando la hidrodensitometría como método de referencia, lo cual reduce su confiabilidad. Por ejemplo, Durnin y Womersley (16) generaron una ecuación en una población heterogénea de un rango de edad de 16 a 72 años y en la cual se incluyeron sólo 61 hombres y mujeres del rango de 50 a 72 años. Además de lo anterior, estas ecuaciones se generaron utilizando la hidrodensitometría como método de referencia. Las únicas ecuaciones diseñadas y validadas a partir de un modelo de 4C son las propuestas por Gausse-Nilsson y Dey;

sin embargo, su limitante es que se incluyeron adultos mayores de 75 años de edad. Actualmente se reconoce que hay un aumento y distribución de la grasa conforme aumenta la edad y esto puede reflejarse en los depósitos de grasa subcutáneos. Por ello, en este estudio se incluyeron a personas entre un rango de 60 a 89 años y con diferente composición corporal (rangos de grasa corporal entre 3,8 y 61,5 kg y de MCLG entre 24,8 y 82,5 kg) y con una amplia distribución de la grasa estimada por la circunferencia de la cintura (53,2 y 131 cm). Con todo ello y además de los resultados obtenidos de la técnica de validación cruzada aplicada en este estudio, la ecuación propuesta puede ser de gran utilidad, por su parsimonia, exactitud, precisión y libre de sesgo.

Otra ventaja de la nueva ecuación generada y validada es que los estimadores de la composición corporal se obtienen de una manera sencilla y rápida, debido a que las variables incluidas son de fácil medición y una vez medidas, se incluyen directamente en la fórmula. En el caso de la ecuación de Durnin y Womersley (16) y las fórmulas de Gause-Nilsson y Dey (22) se requiere de la medición de cuatro pliegues y de su transformación logarítmica, antes de poder introducir los valores en la ecuación de Siri (30) para obtener el porcentaje de grasa. Otro hallazgo y quizás el más importante es que la nueva ecuación cumplió con todos los criterios establecidos de exactitud, precisión y libre de sesgo. Por lo que, en ausencia de metodologías de vanguardia, la ecuación generada puede ser utilizada con confianza en adultos mayores saludables de rangos de edad y características antropométricas similares a los de la muestra de donde se generó y validó la ecuación.

En la mayoría de los estudios en los que se han desarrollado ecuaciones a partir de pliegues cutáneos se ha reportado que la sumatoria o el logaritmo de los pliegues son buenas variables estimadoras de la composición corporal. Sin embargo, en este estudio solo el pliegue del bíceps y el de la pantorrilla entraron al modelo y además probaron su significancia estadística. Con esto se demuestra que la capacidad de estimar de una nueva ecuación depende en gran medida de las características físicas de la muestra, las cuales son distintas entre una población y otra. Con respecto a los parámetros estadísticos de la nueva ecuación, se observó que los valores de F fueron mayores comparado con otros modelos obtenidos. Todas las variables independientes incluidas en el modelo mostraron significancia estadística. La capacidad de la ecuación para estimar la grasa corporal, también se sustentó por el valor de R² y el EES, ya que la variabilidad del modelo se explicó en un 86 por ciento y el EES fue de 3,2 kg. Esto coincidió con la ecuación de Gausse-Nilsson y Dey, con un valor similar de R² y EES (0,86 y 4,05 kg, respectivamente).

Con respecto al proceso de validación Guo y col. (18) recomendaron validar las ecuaciones en una muestra independiente a la del diseño y utilizar la misma metodología para obtener los valores de las variables dependientes e indepen-

dientes. Debido a que en la práctica este procedimiento es complicado de llevar a cabo, se ha sugerido realizar la validación cruzada de las ecuaciones, lo cual fue aplicado en este estudio. La ecuación final cuando se aplicó en la muestra de validación mostró ser exacta y precisa y adicionalmente no mostró sesgo significativo. La exactitud de la ecuación basada en pliegues cutáneos a nivel individual tanto en la muestra completa como en el grupo de hombres y mujeres quedó comprobada cuando se encontró que la línea de identidad no fue diferente a la línea de regresión. Con esto se probó la igualdad entre los métodos. Adicionalmente, el error puro de la ecuación aumentó solo ligeramente en relación al valor del EES que se obtuvo en la muestra de diseño de la misma. Este valor difirió solo en 0,1, lo cual indica que la ecuación fue también exacta en la muestra de validación, ya que dicha diferencia estuvo cercana a cero.

Los gráficos de Bland y Altman mostraron que la ecuación generada no presentó alguna tendencia a sobre o subestimar la masa grasa al evaluar la muestra total y en el grupo de hombres y mujeres por separado. El promedio de las diferencias fue cercano a cero y los límites de concordancia fueron aceptables, lo cual indica que hubo concordancia entre las estimaciones de la nueva ecuación con el método de referencia. El análisis de regresión, el cual consideró las diferencias contra el promedio reveló no asociación significativa entre ambas variables, lo que significa que el error metodológico se distribuyó aleatoriamente a través del espectro del contenido de grasa. Asimismo, este análisis confirma que no hay tendencia alguna a sobre o subestimar los valores de MG con la nueva ecuación generada.

La ecuación diseñada para estimar masa grasa a partir variables antropométricas como peso corporal y pliegues cutáneos fue validada satisfactoriamente en una población de adultos mayores en condiciones de vida libre del Noroeste de México, de un rango de edad de 60 a 89 años. La ecuación basada en antropometría, particularmente pliegues cutáneos y peso corporal mostró ser exacta y precisa a nivel individual y grupal, asimismo para hombres y mujeres juntos y por separado. La ecuación desarrollada y validada incluye parámetros antropométricos fáciles de medir y dada su exactitud y precisión se sugiere que esta nueva ecuación basada en pliegues cutáneos se utilice en estudios clínicos y epidemiológicos en ausencia de metodologías más costosas y que no han sido validadas contra el modelo de 4C. Finalmente, es importante mencionar que siempre será preferible desarrollar ecuaciones para estimar algún componente de la composición corporal de poblaciones específicas, por etnicidad y diferentes estilos de vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de CONACYT (J37891-M) para el proyecto: Estudio de la composición corporal en el adulto mayor, con el modelo de cuatro compartimientos basado en densitometría (pletismografía y absorciometría dual de rayos X) y deuterio, del cual se derivó el presente trabajo de investigación y la IAEA (Research contract No. 12694/R0) por el apoyo complementario. Asimismo, al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. A los voluntarios y a sus familiares, así como también a la MC Flavia A. Pérez, Médico Francisco Navarrete y MC Rosa Olivia Méndez por el apoyo técnico brindado.

REFERENCIAS

1. Johnson CS, Mahon A, McLeod W. Nutritional, functional and psychosocial correlates of disability among older adults. *Am J Clin Nutr* 2006;10:124-50.
2. Garry PJ, Wayne SJ, Vellas B. The New Mexico aging process study (1979-2003). A longitudinal study of nutrition, health and aging. *JNHA* 2007;11:125-30.
3. Steen B. Body composition and aging. *Nutr Rev* 1988;46:45-1.
4. Heymsfield SB, Wang J, Steven L, Yakov K, Kehayias, Pierson RN. Body composition in elderly subjects: a critical appraisal of clinical methodology. *Am J Clin Nutr* 1989; 50:1167-75.
5. Clasey JI, Kanaley JA, Wideman L, Heymsfield SB, Teates CD, Gutgessell ME. Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women. *Am J Physiol* 1999;49:1728-38.
6. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densitometric. Analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci* 1963;110:113-40.
7. Obisesan TO, Aliyu MH, Bond V, Adams RG, Akomolafe A, Rotimi CN. Ethnic and age-related fat free mass loss in older Americans: the Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III). *BMC Public Health* 2005; 5:41.
8. Bossingham MJ, Carnell NS, Campbell WW. Water balance, hydration status, and fat-free mass hydration in younger and older adults. *Am J Clin Nutr* 2005;81:1342-50.
9. Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lychtman S, Wang J, Pierson N. Body composition in elderly people effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr* 1991;53:1345-53.
10. Van der Ploeg GE, Gunn SM, Withers RT, Modra AC. Use of anthropometric variables to predict relative body fat determined by a four-compartment body composition model. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57:1009-16.
11. Valencia ME, Alemán-Mateo H, Salazar G, Hernández-Triana M. Body composition by hydrometry (deuterium oxide dilution) and bioelectrical impedance in subjects aged >60 y from rural regions of Cuba, Chile and Mexico. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2003;27:848-55.

12. Mazess RB. On aging bone loss. *Clin Orthop* 1982;165:329-51.
13. Cohn SH, Vartky D, Yasamura S. Compartmental body composition based on total-body nitrogen, potassium, and calcium. *Am J Physiol* 1980;239:524-30.
14. Heymsfield SB, Litchman S, Baumgartner RN, Wang J, Yakov K, Aliprantis A. Body Composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *Am J Clin Nutr* 1990;52:52-8.
15. Heymsfield SB, Z Wang, Baumgartner RN, Dilmanian Y. Body composition and aging: a study by in vivo neutron activation analysis. *J Nutr* 1993;123:432-37.
16. Durmin JVGA, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16-72 years. *Br J Nutr* 1974;32:77-96.
17. Broekhoff C, Voorrips LE, Weijenberg MP, Witvoet GA, van Staveren WA, Deurenberg P. Relative validity of different methods to assess body composition in apparently healthy elderly women. *Ann Nutr Metab* 1992;36:148-56.
18. Guo S, Chumlea C, Cockram. Use of statistical methods to estimate body composition. *Am J Clin Nutr* 1996;64:428-35.
19. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT, Marfell-Johns MJ. The skinfold: myth and reality. *J Sports Sci* 1987;5:3-33.
20. Goran MI, Toth MJ, Poelhman ET. Cross-validation of anthropometric and bioelectrical resistance prediction equations for body composition in older people using the 4-compartment model as a criterion method. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45:837-43.
21. Deurenberg-Yap M, Ai Ng S, Li Foo L, Deurenberg P. Development and validation equation for percentage body fat based on skinfolds for Signaporean adults and adolescent. *Int J Body Compos Res* 2003;1:103-9.
22. Gause-Nilsson I, Dey DK. Percent body fat estimation from skin fold thickness in the elderly. Development of a population-based prediction equation and comparison with published equations in 75-year-olds. *JNHA* 2005; 9:19-24.
23. Katz S, Downs TD, Cash HR, Grotz RC. Progress in development of the index of ADL. *Gerontologist* 1970;10:20-30.
24. Pfeiffer E. A short portable mental status questionnaire for the assessment of organic brain deficit in elderly patients. *J Am Geriatr Soc* 1975;23:433-41.
25. Norton K, Whittingham N, Carter L, Kerr D, Gore Ch, Marfell-Jones M. Cap 2. En: *Anthropometrica*. Sydney: University of New South Wales Press. 1996; p. 25-75.
26. Durmin JVGA. Cap. 2. En: *Nutrition in the elderly*. Oxford: Oxford University Press. 1989; p. 15-32.
27. 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;61:830-6.
28. Schoeller DA. Cap. 3. En: *Human body composition*. 2^{da} ed. Champaign, IL: Human Kinetics. 1996; p. 35-49.
29. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-10.
30. Siri, WE. Body composition from fluid spaces and density. Analysis of methods. En: *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council. 1961; p. 223-244

Recibido: 29-09-2007

Aceptado: 25-10-2007