

Diseño Y Validación De Un Modelo Antropométrico Para Evaluar La Masa Grasa Corporal En Mujeres Mexicanas

David Yair Martínez Romero ^{1, *}, Marco Antonio Hernández Lepe ¹, Arnulfo Ramos-Jiménez ², Juan Benito Martínez Romero ³

¹ Facultad de Medicina y Psicología, Universidad Autónoma de Baja California Circuito Universitario Insurgentes, 22424 Tijuana, B.C., México

² Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Av. Benjamín Franklin no. 4650, Zona Pronaf Condominio La Plata, 32310 Cd Juárez, Chihuahua, México.

³ Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional, Lindavista, Gustavo A. Madero, 07700 Ciudad de México, CDMX

* Corresponding authors email: david.martinez.romero@ubc.edu.mx

DOI: <https://doi.org/10.34256/ijk23213>

Received: 13-09-2023; Revised: 24-11-2023; Accepted: 05-12-2023; Published: 30-12-2023

Resumen

Objetivo: Desarrollar un modelo lineal múltiple, usando el método de mínimos cuadrados para correlacionar la masa grasa (kg), utilizando variables antropométricas obtenidas de una muestra de mujeres del noroeste de México.

Materiales. La estandarización ISAK fue utilizada en este estudio para el levantamiento de las mediciones. Los criterios estadísticos R^2 , EER, VIF, C_p , y RMSE se utilizaron para evaluar el desempeño del modelo. **Método.**

Estudio transversal observacional descriptivo, para determinar la masa grasa de una muestra de 95 mujeres del noroeste de México con normopeso y sobrepeso. **Resultados.** El modelo ajustado (M8p) se conforma por ocho predictores estadísticamente más representativos en este estudio: peso, 6 pliegues cutáneos y el diámetro biliocrestal. La masa grasa de la muestra se determinó usando pletismografía por desplazamiento de aire (referencia), la media obtenida para la masa grasa fue de 21.3 kg con una desviación estandar de ± 9.3 , el modelo M8p predice 20.9 ± 9.9 kg lo cual está 2% debajo del método de referencia utilizado. Los criterios estadísticos del modelo ajustado son, $R^2_{Adj}=0.92$, EER= 2.9 kg, VIF 4.8, $C_p= 7.8$, y RMSE= 3.08 obtenidos con la muestra de ajuste (70 mujeres), la muestra de validación (25 mujeres) obtuvo un valor RMSE de 3.15, por lo que el modelo presenta capacidad predictiva. **Conclusiones.** El modelo desarrollado predice adecuadamente la masa grasa de mujeres con y sin exceso de masa grasa corporal, lo cual lo hace válido para su uso en muestras similares, dando al profesional de salud una opción más de evaluar adecuadamente este tejido, lo que permitirá dar un tratamiento óptimo de forma individualizada.

Palabras Clave: Antropometría, Composición corporal, Masa grasa, Pletismografía por desplazamiento de aire, Sobrepeso.

Abstract

Objective: Develop a multiple linear model, using the least squares method to correlate fat mass (kg), using anthropometric variables obtained from a sample of women from northwest Mexico. **Materials:** ISAK standardization was used in this study to collect measurements. The statistical criteria R^2 , EER, VIF, C_p , and RMSE were used to evaluate the performance of the model. **Method:** Descriptive observational cross-sectional study to determine the fat mass of a sample of 95 women from the northwest of Mexico with normal weight and overweight. **Results:** The adjusted model (M8p) is made up of eight predictors that are statistically most representative in this study: weight, 6 skinfolds, and biliocrestal diameter. The fat mass of the sample was determined using air displacement plethysmography (reference), the mean obtained for the fat mass was 21.3 kg with a standard deviation of ± 9.3 , the M8p model predicts 20.9 ± 9.9 kg which is 2% below the reference method used. The statistical criteria of the adjusted model are, $R^2_{Adj}=0.92$, SER= 2.9 kg, VIF 4.8, $C_p= 7.8$, and RMSE= 3.08 obtained with the adjustment sample (70 women), the validation sample (25 women) obtained a value RMSE of 3.15, so the model has predictive capacity. **Conclusions:** The developed model adequately predicts the fat mass of women with and without excess body fat

mass, which makes it valid for use in similar samples, giving the health professional one more option to adequately evaluate this tissue, which will allow giving an optimal treatment on an individualized basis.

Keywords: Anthropometry, Body composition, Fat mass, Air displacement plethysmography, Overweight

Introducción

El sobrepeso y la obesidad son de los principales problemas de salud pública en el mundo, en la actualidad debido a su magnitud, representa un importante reto a nivel nacional e internacional. La determinación de la composición corporal es la forma más adecuada con la cual los profesionales de la salud pueden determinar de forma correcta tales condiciones patológicas (Romero, Shamah, Vielma, Heredia, Mojica, Cuevas y Rivera 2019). El sobrepeso y la obesidad tienen un origen multifactorial donde se involucran la genética y el estilo de vida, que son influenciados por diversos determinantes subyacentes como la globalización, la cultura, las condiciones económicas, la educación, lo social y el ambiente político. Este fenómeno ha tomado un papel determinante en el comportamiento individual, así como en lo familiar y el ambiente social (Romero et al. 2019).

El IMC y la circunferencia de cintura han sido ampliamente utilizadas para caracterizar el sobrepeso, así como la obesidad central. Estas determinaciones no permiten evaluar la cantidad de masa grasa corporal (MG), sólo hacen referencia a la distribución de forma subjetiva (Castro, Rojas, Villanueva y López 2019). Estas dos únicas variables pueden dar una medición imprecisa del porcentaje de masa grasa (%MG) de un individuo, por lo cual algunos autores han destacado la importancia de estudiar la MG utilizando diferentes variables como son los pliegues cutáneos (Castro et al. 2019). Por ejemplo, Lee, Keum, Hu, Orav, Rimm, Sun, Willet y Giovannucci (2018) encontraron una fuerte asociación monótona positiva entre la MG predicha y la mortalidad por distintas causas, medir la cantidad de MG es un tema central del estudio de sobrepeso y obesidad a nivel individual y poblacional que ha tomado importancia en los últimos años.

La composición corporal puede ser evaluada a través de métodos como disección de cadáveres, métodos indirectos in vivo como: hidrodensitometría, absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA), pletismografía por desplazamiento de aire (PDA) y métodos doblemente indirectos como antropometría y análisis de bioimpedancia eléctrica (ABE). El análisis químico y la disección de cadáveres humanos han proporcionado la validación teórica de los procedimientos indirectos (Kerr 1988).

En México se estima que la atención de enfermedades generadas como consecuencia del sobrepeso y la obesidad tiene un costo anual aproximado de 3,500 millones de dólares, además, son causa de empobrecimiento debido a que disminuyen la productividad laboral y provocan mayores gastos relacionados a enfermedades crónicas como: diabetes, hipertensión y problemas cardiovasculares (Dávila, Gonzáles y Barrera 2015).

En población mexicana existen pocas investigaciones relacionadas con la valoración de la composición corporal, es difícil llevar a cabo la utilización de los métodos directos e indirectos si no se cuenta con la metodología y estandarización en el uso del equipo. En los estudios existentes en población mexicana, se ha utilizado el método ABE por su practicidad en la investigación de campo, se han desarrollado ecuaciones de predicción validados contra una referencia secundaria como es el PDA en poblaciones específicas. Reajustar los parámetros del modelo llega a ser complicado para los investigadores que no pueden acceder al uso de los equipos ABE y PDA que permitan replicar esas ecuaciones (Macias, Alemán, Esparza y Valencia 2007).

Sin embargo, existen aún pocos estudios en donde se hayan realizado modelos matemáticos a partir de variables antropométricas en población mexicana y validados contra técnicas de referencia (Huerta, Esparza, Urquidez, Pacheco, Valencia y Alemán 2007; Lee, Keum, Hu, Orav, Rimm, Sun, Willet y Giovannucci 2017; Ramos, Hernández y Murguía 2018; Castro et al. 2019). La validación de los modelos desarrollados a partir de variables antropométricas se ha realizado utilizando los métodos de referencia como son DEXA, PDA e hidrodensitometría, presentando de moderados a altos índices de correlación ($R > 0.60$) y errores estandar de estimación (EEE) menores del 5% (Ramos et al. 2018). En estudios que desarrollan modelos a partir de antropometría, pocos reportan el tipo de estandarización implementado, lo que dificulta la interpretación de los datos (si es que estos están disponibles) y la validez del modelo.

El presente estudio tiene tres objetivos: 1) desarrollar un modelo regresión lineal múltiple a partir del método de mínimos cuadrados para predecir la MG en kg de una muestra de mujeres a partir de variables antropométricas utilizando la estandarización ISAK, 2) Determinar estadísticamente cuáles son las variables antropométricas pliegues, perímetros y diámetros con mayor correlación a la variable de respuesta MG y 3) utilizar los siguientes criterios estadísticos: coeficiente de determinación (R^2), Error estandar de los residuales (EER), factor de inflación de la varianza (VIF), coeficiente de Mallow's (C_p) y la raíz media de los errores al cuadrado (RMSE) para validar la confiabilidad del modelo generado.

Métodos

Participantes

El protocolo de investigación fue aprobado por el Comité Científico y el Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Baja California, se obtuvo el consentimiento informado por escrito de las participantes previo a cualquier evaluación. El protocolo de estudio se ajustó a las directrices de la Declaración de Helsinki.

Se reclutaron noventa y cinco mujeres del Noroeste de México de entre edades de 18-66 años, los criterios de exclusión fueron: presentar enfermedades crónicas como diabetes, enfermedad cardiovascular, hipertensión, etc., mujeres embarazadas, que presentaran retención de líquidos en cualquier parte del cuerpo, que estuvieran en tratamiento nutricional para el control o pérdida de peso, ya que previas investigaciones han demostrado que estos criterios pueden influenciar los resultados de la evaluación de la composición corporal por PDA o antropometría.

Los criterios de inclusión para la realización de las mediciones fueron: realizar un ayuno nocturno de 8 horas, no haber realizado un ejercicio extenuante el día anterior, no haber ingerido alcohol o café 24 hrs antes de la prueba y no fumar cigarrillos al día previo a la prueba. Se le pidió a cada participante haya vaciado su vejiga 30 min antes de empezar la evaluación en el laboratorio. Después de haber registrado correctamente los datos de las participantes y firmado su consentimiento informado, cada una completó las pruebas de PDA y mediciones antropométricas que fueron tomadas por un instructor ISAK nivel 3, el mismo día y dentro de la misma hora que fueron citadas.

Antropometría

Los pliegues cutáneos, perímetros y diámetros del perfil completo fueron medidos siguiendo el protocolo ISAK (Esparza, Vaquero y Marfell 2019). La altura de pie fue medida usando un estadímetro de pared SECA-206 al 0.1 cm más cercano. El peso corporal fue medida con ropa ligera y sin zapatos usando la báscula digital del equipo PDA (Body Composition System manufactured by Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA), los pliegues cutáneos fueron medidos con un plicómetro SlimGuide con una sensibilidad de 1 mm que fue calibrado y comparado con el plicómetro Harpenden cada día de las evaluaciones, se utilizó una cinta antropométrica Lufkin (Estados Unidos) para la toma de perímetros de acuerdo con el protocolo ISAK. Los diámetros fueron medidos con un calibrador de ramas largas (SMARMET, México). Para el registro de los datos se utilizó una proforma antropométrica para la recolección de los datos de cada uno de los sujetos de estudio. Todas las mediciones fueron tomadas del lado derecho del cuerpo y por duplicado de acuerdo con lo establecido por la ISAK.

Masa grasa en equipo de validación

Antes de las mediciones, el equipo de PDA (BOD POD, Concord, CA, USA) fue calibrado con las recomendaciones del fabricante (Dempster y Aitkens 1995), las participantes ingresaron al equipo vistiendo una licra y top, gorra de nadar y sin joyería, el volumen corporal de las participantes fue medido mientras las mujeres permanecían sentadas correctamente, con las manos sobre sus rodillas, manteniendo una frecuencia de respiración normal, evitando movimientos bruscos. El volumen de gas torácico fue determinado por el equipo y su obtuvo el %MG a partir de la ecuación de Siri.

Análisis estadístico

La estadística descriptiva fue determinada para todos los datos univariantes (predictores y variable de respuesta), se realizaron pruebas estadísticas para validar la normalidad de datos univariantes a partir de Q-Q plot y pruebas de Shapiro Wilk.

Se calculó la correlación lineal de cada uno de los predictores de forma bivariada contra la variable de respuesta utilizando la correlación de Pearson, se ajustó un modelo lineal múltiple utilizando el método de los mínimos cuadrados, se determinó la significancia estadística de los parámetros utilizados en el modelo, se evaluó la homocedacidad de los residuos generados por el modelo de manera grafica.

Catorce variables predictoras son consideradas de interés, las cuales son ingresadas al modelo como primer intento siendo estas: peso, talla, seis pliegues cutáneos tricipital, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo frontal y pierna máxima (pantorrilla), perímetros cuello, brazo relajado, cintura, cadera, diámetro anteroposterior del abdomen y diámetro biliocrestal. Se probaron diferentes modelos utilizando combinaciones parciales de todos los predictores disponibles y se obtuvo el valor de cinco criterios estadísticos R^2 , EER, VIF, C_p , RMSE para la selección del mejor modelo. El modelo más parsimonioso con el valor más bajo de RMSE fue el elegido.

La homocedacidad y distribución normal de los residuales de regresión múltiple fueron verificados por R^2 , el EER, y representando gráficamente la homocedacidad de las varianzas de los residuos. Se calculó el VIF para evaluar la colinealidad de los predictores, el cual dice que valores $VIF > 5$ entre los predictores podrían estar midiendo lo mismo, lo cual podría resultar que el modelo no fuera parsimonioso, aunque la colinealidad no impacta en la potencia predictiva del modelo se busca que el modelo presente una baja colinealidad entre sus predictores.

Además de calcular el VIF con la finalidad de que el modelo elegido sea parsimonioso se realiza un Coeficiente de Mallows donde se busca un valor que sea pequeño y cerca al número de parámetros elegidos para el modelo final y el criterio de información de Akaike (CIA) el cual nos permita ajustar un modelo con un menor suma de residuales al cuadrado (SRC), y así evitar el sobreajuste. Por último, se calculó el RMSE tanto de la muestra de ajuste como para la muestra de validación, el cual nos indica la capacidad predictiva del modelo propuesto. El análisis estadístico fue realizado usando R versión 4.0.3.

RESULTADOS

Los estadísticos descriptivos para las variables medidas de la muestra total son reportados en la Tabla 1. Para evaluar la existencia de la distribución normal de la muestra se realizaron gráficas Q-Q y pruebas de Shapiro-Wilk. La hipótesis nula (H_0) de la prueba de Shapiro-Wilk menciona que los datos están normalmente distribuidos si el valor alfa calculado es < 0.05

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables medidas de la muestra de 95 participantes

Estadísticos descriptivos de las variables medidas de la muestra de 95 participantes	
VARIABLES	μ σ
PDA Masa Grasa (kg)	22.8±10.1
Peso (kg)	65.8±13.4
Talla (m)	1.60±0.06
Edad (años)	24.4±9.3
Pliegues Cutáneos	
Tricipital (mm)	23.2±6.4
Subescapular (mm)	21.7±8.5
Supraespinal (mm)	20.8±9.6
Abdominal (mm)	28.9±12.2
Muslo (mm)	25.2±8.9
Pierna (mm)	22.0±7.9
Perímetros y Diámetros	
P. Cuello (cm)	32.9±2.7
P. brazo (cm)	29.3±4.0
Cintura (cm)	77.9±13.0
Cadera (cm)	100.7±9.7
A-P del Abdomen (cm)	22.1±3.9
Biliocrestal (cm)	27.1±2.6
Trabaja Si/No (%)	
	40.0 – 60.0
Actividad física Si/No (%)	
	44.2 – 55.8

Los datos se muestran como media \pm desviación estándar. PDAkg, masa grasa estimada por pletismografía por desplazamiento de aire; P. Cuello, perímetro de cuello cm; P. Brazo, perímetro de brazo cm; A-P Abdomen, anteroposterior del abdomen cm.

El perímetro de brazo relajado y diámetro biliocrestal presentaron un valor p de 0.3604 y 0.1351 lo cual está por arriba de la significancia, para el resto de los demás predictores el valor de la significancia fue < 0.05 .

Se calcula el momento-producto de Pearson o r de Pearson (Denis 2020) para determinar en cuáles existen interacciones entre los predictores medidos, la Figura 2 muestra la distribución de las correlaciones entre los distintos predictores.

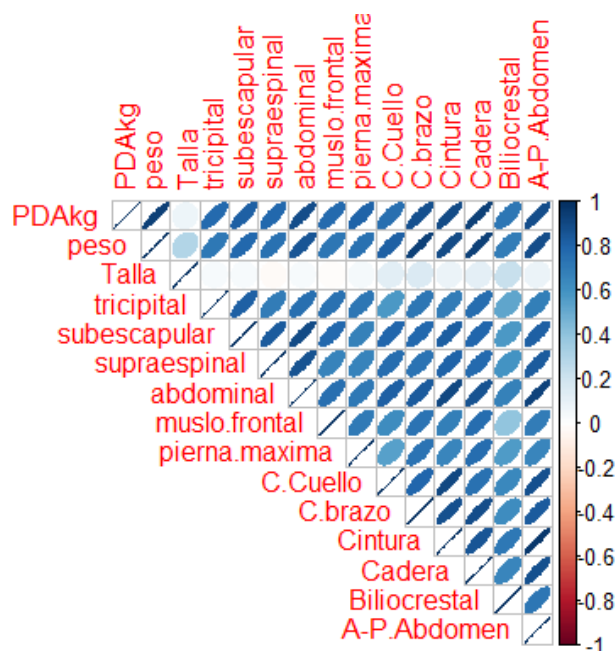


Figura 2. Gráfica de correlaciones de r de Pearson con la variable de respuesta PDAkg vs todos los predictores medidos.

En la Figura 2 se muestran las correlaciones entre los kilogramos de MG (PDAkg) vs las 14 variables antropométricas donde la mayoría presentan elipses estrechas y un color azul intenso lo cual indica la existencia de correlación. La talla no muestra correlación alguna con los restantes predictores y tampoco aporta información adicional a la MG, caso contrario el diámetro biliocrestal no muestra correlación contra los predictores, pero si con la variable de respuesta (buen candidato).

Tabla 2. Valores ajustados del modelo M14p

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(< t)
(Intercept)	12.4259	16.4361	0.76	0.4529
peso	0.5370	0.1169	4.59	2.59e-5***
Talla	-24.5304	6.7067	-3.66	0.0006***
tricipital	0.1124	0.0993	1.13	0.2626
subescapular	-0.0114	0.1067	-0.11	0.9152
supraespinal	-0.0333	0.0653	-0.51	0.6122
abdominal	0.0922	0.0899	1.03	0.3097
Muslo frontal	0.0866	0.0645	1.34	0.1849
Pierna máxima	0.1260	0.0682	1.85	0.0701.
P. cuello	-0.5246	0.3113	-1.69	0.0976.
P. brazo	-0.5146	0.2358	-2.18	0.0334 *
Cintura	0.1804	0.1226	1.47	0.1469
Cadera	0.1236	0.1104	1.12	0.2677
Biliocrestal	0.5497	0.1968	2.79	0.0072**
A-P Abdomen	-0.1915	0.3408	-0.56	0.5764

Significancia: 0 "***", 0.001 "**", 0.01 "*", 0.05 ".", 0.1 " ", EER: 2.4; R2: 0.95; R2Adj: 0.94; P : <2.2E-16. EER, error estandar de los residuales; R2 coeficiente de determinación; R2Adj, coeficiente de determinación ajustado; P, p-valor

Para evaluar la capacidad predictiva del modelo ajustado, la muestra total (95 mujeres) se dividió en dos grupos. El primer grupo utilizado para ajustar el modelo se conformó con 70 mujeres tomadas de manera aleatoria. Con el segundo grupo utilizado para la validación (conformado por 25 mujeres) se obtuvieron los estadísticos descriptivos para comparar entre ellos.

Como primer acercamiento se ajustó un modelo utilizando los 14 predictores antropométricos evaluados, el modelo obtenido se denominó **M14p**, los valores de los parámetros ajustados se muestran en la Tabla 2.

El coeficiente de determinación para el modelo **M14p** fue 0.95 lo cual indica que los predictores seleccionados explican de manera adecuada el cambio en la variable de respuesta, sin embargo, se observa que los pliegues tricipital, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo, pierna, perímetros de cuello, cintura, cadera y el diámetro A-P abdomen no son estadísticamente representativos, lo anterior abre la posibilidad de optimizar el modelo. El coeficiente de determinación ajustado (el cual penaliza a modelos con mayor número de predictores) fue de 0.94 y un valor de EER = 2.4 (kg) y estadísticamente el modelo obtuvo un valor $p = <2.2e-16$, la distribución de los residuos generados por el modelo **M14p** se muestran en la Figura 3, se observa la presencia de homocedacidad en todo el intervalo medido, con una varianza de ± 4 kg.

En la Figura 4 se presenta el gráfico Q-Q, el cual muestra la distribución de los residuos obtenidos del modelo **M14p** vs una distribución normal, se observa que la mayoría de los residuos presentan una tendencia a la normalidad, en las zonas inferior izquierda y superior derecha se observan diez residuos que se desvían de forma significativa ya que el modelo no es capaz de capturar su comportamiento, se analizó si existían diferencias significativas en los kg de MG y en los predictores para estas mujeres con respecto a las demás no se encontraron diferencias significativas. Otra posible causa de lo observado podría ser debida a la existencia de colinealidad entre los predictores utilizados.

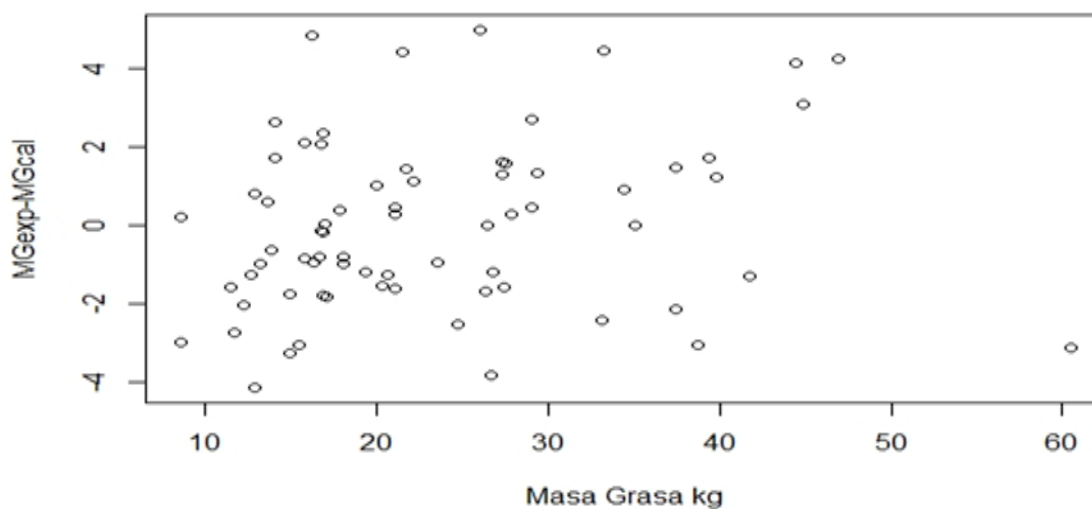


Figura 3. Gráfico de los residuales del modelo M14p; MGexp, masa grasa experimental kg; MGcal, masa grasa calculada.

Para probar lo anterior se calculó el factor de inflación de la varianza (VIF) para los predictores del modelo **M14p**, la Tabla 3 muestra el valor calculado de los predictores, Abhijit (2017) recomienda que el valor de VIF se encuentre en intervalo de 2-5 lo cual disminuye la posible colinealidad entre predictores, apegándonos a lo anterior vemos que los pliegues subescapular, abdominal, perímetros de cuello, brazo, cintura, cadera y el diámetro A-P abdomen se encuentran sus valores > 5 . El parámetro del peso presenta el VIF más alto 29.72, sin embargo, esta variable está altamente correlacionada con la masa grasa lo cual indica que existen predictores que cuantifican lo mismo y serían candidatos a ser eliminados del modelo.

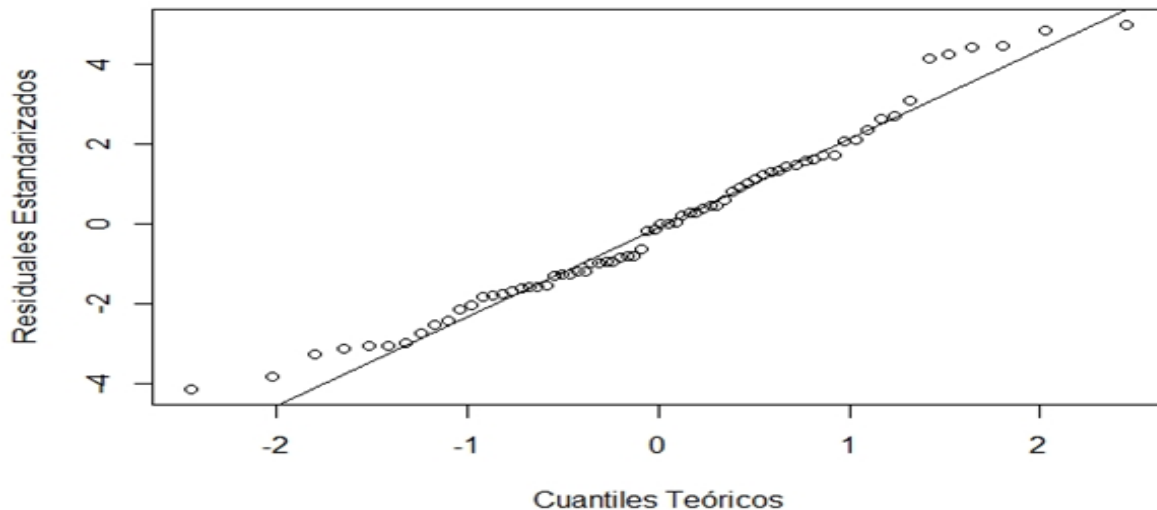


Figura 4. Gráfica Q-Q de los cuantiles de los residuales de la masa grasa predicha por el modelo M14p.

Tabla 3. Valores VIF calculados de los predictores del modelo M14p

Peso 29.72	Talla 2.15	Tricipital 4.39	Subescapular 9.61	Supraespinal 4.87	Abdominal 13.85	Muslo 3.99
Pierna 3.49	P.cuello 7.36	P.brazo 9.81	Cintura 24.38	Cadera 13.66	Biliocrestal 2.69	A-P abdomen 21.26

El modelo M14p es mostrado en la Ecuación 1.

$$\text{MGM14p} = 12.42 + 0.53 (P) - 24.5 (T) + 0.11 (\text{Tri}) - 0.01 (\text{Sub}) - 0.03 (\text{Sup}) + 0.09 (\text{Abd}) + 0.08 (\text{Mus}) + 0.12 (\text{Pier}) - 0.52 (\text{Pcu}) - 0.51 (\text{Pb}) + 0.18 (\text{Cin}) + 0.12 (\text{Cad}) + 0.54 (\text{DBi}) - 0.19 (\text{DAP})$$

$$R^2\text{Adj} = 0.94$$

$$\text{EER} = 2.46 \text{ kg (Ecuación 1)}$$

Donde P; peso, T; altura, Tri; pliegue tricipital, Sub; pliegue subescapular; Sup; pliegue supraespinal, Abd; pliegue abdominal, Mus; pliegue del muslo, Pier; pliegue de la pierna, Pcu; perímetro de cuello, Pb; perímetro de brazo relajado, Cin; cintura, Cad; cadera, DBi; diámetro biliocrestal, DAP; diámetro A-P del abdomen.

Para decidir estadísticamente sobre cuales predictores descartar del modelo M14p, se utilizaron los criterios estadísticos CIA, C_p y $R^2\text{Adj}$, para seleccionar el modelo con menor número de parámetros y optimizar el valor de la suma de los residuos al cuadrado (SRC).

Se realizó el cálculo del CIA con el fin de hallar el modelo con el menor valor en función al número de parámetros, el menor valor obtenido de CIA fue de 132.82 para un modelo con nueve parámetros. El análisis de C_p (Faraway 2004) se muestra en la Figura 5, del lado izquierdo se observa un comportamiento inversamente proporcional del valor de C_p con respecto al número de parámetros hasta un valor mínimo 7.84 (7-10 parámetros), después del cual el comportamiento cambia a directamente proporcional. Faraway (2004) menciona que modelos que no captan adecuadamente el comportamiento de los datos suelen presentar valores de C_p mucho mayores al número de parámetros, la Figura 5 muestra que modelos con más de 7 parámetros cumplen con el precepto $C_p \leq p$ (parámetros), del lado derecho se observa el comportamiento de $R^2\text{Adj}$ con respecto al número de parámetros, se observa un incremento directamente proporcional al número de parámetros el valor máximo para el $R^2\text{Adj}$ 0.96 se encuentra entre 7-10 después del cual disminuye.

Por lo anteriormente explicado un modelo con nueve parámetros posera un buen compromiso entre la varianza explicada de los datos y la complejidad del modelo.

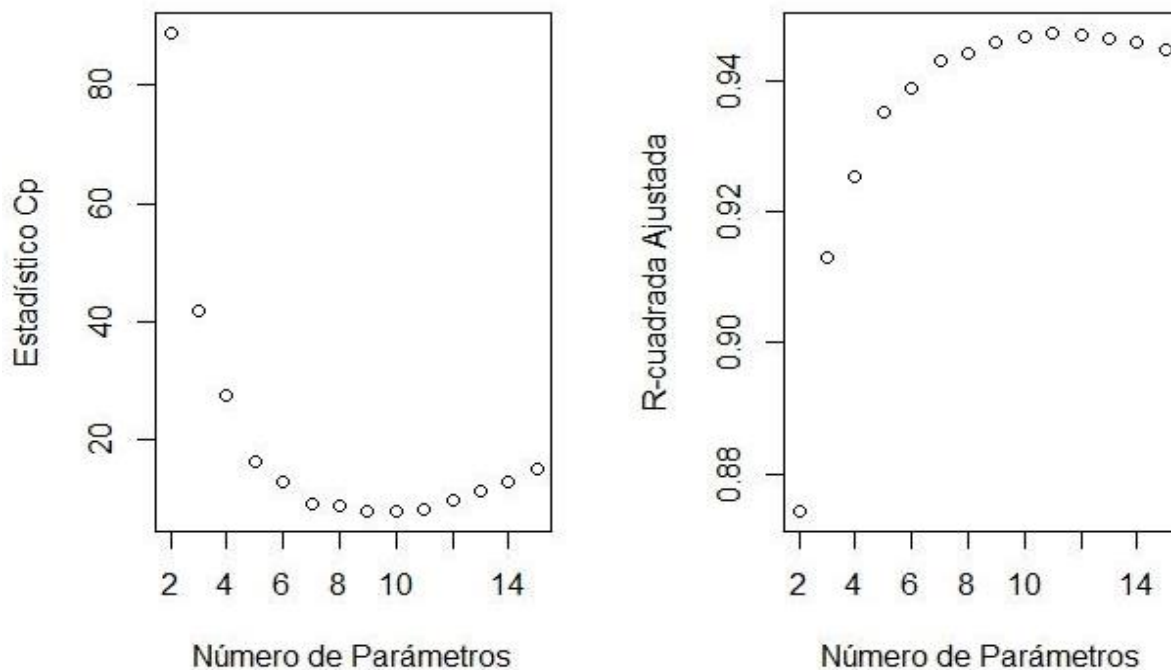


Figura 5. Gráfico del Coeficiente de Mallow's lado (Izquierdo), gráfico con los valores de coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) de acuerdo con el número de parámetros a elegir lado (Derecho)

La toma de los pliegues cutáneos posee información sobre el tejido graso de una persona si es realizada con la técnica correcta (Kasper, Langan, Hudson, Brownlee, Harper, Naughton, Morton y Close 2021), los pliegues permiten la ubicación, cuantificación del espesor de la bicapa de piel y grasa estas mediciones se relacionan correctamente con la MG.

El IMC (peso/talla²), las circunferencias de cintura y cadera han sido ampliamente utilizadas para caracterizar el sobrepeso, así como la obesidad central. Estas variables pueden dar una medición imprecisa del porcentaje de masa grasa (%MG) de un individuo, por lo cual algunos autores han destacado la importancia de estimar la MG utilizando diferentes variables como son los pliegues cutáneos (Castro et al. 2019).

Por lo anterior se decide que el modelo conserve los pliegues cutáneos con base a que estos representan de buena manera la MG, como han sido empleados en investigaciones (Kasper et al, 2021; Ramos et al., 2018; Lee et al., 2017), durante la fase experimental las variables fueron obtenidas por un Instructor ISAK nivel 3 con el fin de conseguir el menor sesgo posible entre las mediciones, sin embargo, durante el levantamiento de las mediciones los pliegues cutáneos (abdominal y muslo) presentan dificultades en su medición en personas con exceso de masa corporal (IMC ≥ 31 kg/m²) si no se cuenta con experiencia en la medición de pliegues cutáneos.

Por lo cual la medición de perímetros y diámetros complementaran el posible modelo ya que estas mediciones son fáciles de obtener en personas con características mencionadas anteriormente y en trabajos similares han sido propuestos como una solución viable a pliegues cutáneos difíciles de medir (Lee et al, 2017; Huerta et al, 2007; Castro et al, 2019).

En la Tabla 4 de izquierda a derecha se observan los modelos ajustados, se presenta la significancia estadística de los coeficientes (valor P/t) se observa que la mayoría de los predictores presenta significancia estadística <0.05 . Con respecto al Coeficiente de Mallow's el modelo M7p es el único que presentó un valor de $C_p = 8.90$ mayor al número de ($p=7$) por lo cual se descarta. El modelo M10p presentó un valor VIF = 8.4 lo cual es ligeramente mayor comparado con respecto a los modelos M8p y M9p por esta razón no es seleccionado.

Con el fin de decidir qué modelo será elegido dado a que ambos son estadísticamente significativos se decide realizar una validación cruzada k-fold Tabla 5 y graficar sus residuos sobre la muestra de validación (25 mujeres) las cuales no fueron contempladas en el ajuste de los modelos para elegir el que prediga correctamente la MG, en la Figura 6 se observa los residuos de los modelos **M8p-M9p** (triángulos rojos – rombos azules) muestran valores de ± 2 kg mostrando varianzas similares. En la validación cruzada el modelo **M8p** presenta un porcentaje de variación respecto al RMSEajuste del 2.2% mientras en el modelo **M9p** fue de 0.36%.

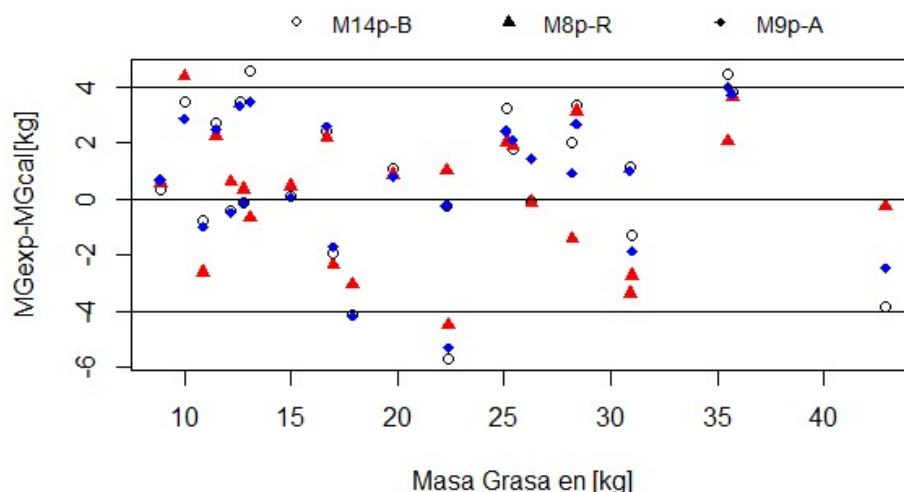


Figura 6. Gráfico del Coeficiente de Mallow's lado (Izquierdo), gráfico con los valores de coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) de acuerdo con el número de parámetros a elegir lado (Derecho)

Tabla 4. Modelos ajustados en combinación de las 14 variables antropométricas a partir del grupo de muestra 70 mujeres edad 18 – 66 años con un IMC 18.2 – 45.0 kg/m².

	Modelo 7p			Modelo 8p			Modelo 9p			Modelo 10p		
	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)
Intercepto	8.08	9.97	0.42	-29.2	5.01	2.33e-7	22.87	11.08	0.04	10.02	14.95	0.50
peso (kg)	0.51	0.06	7.37e-12	0.36	0.05	1.59e-8	0.61	0.08	2.19e-09	0.52	0.11	2.02e-05
Talla (cm)	-20.99	5.52	0.00				-27.16	6.02	3.05e-05	-23.95	6.50	0.00
TRI (mm)	0.17	0.07	0.03	0.18	0.10	0.09	0.14	0.08	0.08	0.11	0.08	0.17
SUB (mm)	-	-	-	-0.12	0.11	0.29	-	-	-			
SUP (mm)	-	-	-	0.01	0.07	0.88	-	-	-			
ABD (mm)	-	-	-	0.19	0.08	0.03	-	-	-			
MUS (mm)	-	-	-	0.12	0.07	0.09	0.10	0.05	0.08	0.09	0.05	0.10
PIER (mm)	0.19	0.06	0.00	0.15	0.07	0.04	0.13	0.06	0.04	0.13	0.06	0.04
CCU (cm)	-0.36	0.23	0.11	-	-	-	-0.61	0.27	0.02	-0.58	0.27	0.03
CB (cm)	-	-	-	-	-	-	-0.50	0.22	0.02	-0.47	0.22	0.04
CIN (cm)	0.1	0.05	0.04	-	-	-	0.16	0.09	0.06	0.17	0.09	0.05
CAD (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.10	0.20
APA (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BIL (cm)	0.36	0.18	0.05	0.51	0.22	0.02	0.57	0.18	0.003	0.55	0.18	0.00
R²	0.94			0.93			0.95			0.95		
R²_{adj}	0.94			0.92			0.94			0.94		
EER	2.53			2.9			2.4			2.4		
VIF (Σ)	4.1			4.8			6.6			8.4		
C_p	8.90			7.84			7.86			8.31		
RMSE	2.25			3.08			2.75			2.18		
RMSE_v	2.38			3.15			2.74			2.56		

Coef., coeficiente; SE, error estándar; TRI, tricipital mm; SUB, subescapular mm; SUP, supraespinal mm; ABD, abdominal mm; MUS, muslo mm; PIER, pierna mm; CCU, circunferencia cuello cm; CRB, circunferencia brazo cm; CIN, cintura cm; CAD, cadera cm; APA, antero-posterior del abdomen cm; BIL, biliocrestal cm; R², coeficiente de determinación; R²_{adj}, coeficiente de determinación ajustado, EER, error estándar de los residuales; VIF(Σ), factor de inflación de la varianza; C_p, coeficiente de Mallow's; RMSE, raíz media de los errores al cuadrado muestra; RMSE_v, raíz media de los errores al cuadrado validación; Pr(|t|)

El modelo **M9p** sin embargo toma en cuenta el predictor talla el cual no presenta correlación con la variable de respuesta MG (Figura 5) además los perímetros de cuello, brazo y cintura muestran colinealidad infiriéndose que posiblemente aportan la misma información al modelo elevando el valor del VIF, por lo cual el modelo **M8p** fue seleccionado en este estudio como el óptimo.

Tabla 5. Validación Cruzada k-fold sobre la muestra de ajuste y validación comparando los modelos M8p y M9p

Muestra de ajuste	RMSE	R ²	MAE
M8p	3.08	0.90	2.60
M9p	2.75	0.93	2.32
Muestra de validación			
M8p	3.15	0.93	2.83
M9p	2.74	0.93	2.75

RMSE: raíz media de los errores al cuadrado; R²: coeficiente de determinación; MAE: error medio absoluto

En la Tabla 6 se muestran los coeficientes para el modelo **M8p** el cual se conforma por los predictores: peso, más 6 pliegues cutáneos y el diámetro biliocrestal.

Tabla 6. Modelo ajustado M8p

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>(Intercept)</i>	-29.203	5.016	-5.82	2.33e-07***
<i>peso</i>	0.3654	0.056	6.51	1.59e-08***
<i>Tricipital</i>	0.1851	0.108	1.70	0.09.
<i>Subescapular</i>	-0.1216	0.115	-1.05	0.29
<i>Supraespinal</i>	0.0112	0.074	0.15	0.88
<i>Abdominal</i>	0.1904	0.086	2.20	0.03*
<i>Muslo Frontal</i>	0.1266	0.075	1.68	0.96.
<i>Pierna M.</i>	0.1544	0.075	2.03	0.04*
<i>Biliocrestal</i>	0.5111	0.221	2.30	0.02*

Significancia: 0 “***”; 0.001 “**”; 0.01 “*”; 0.05 “.”; 0.1 “.”; EER: 2.9; R²: 0.93; R²adj: 0.92; P: < 2.2e-16. EER, error estandar de los residuales; R², coeficiente de determinación; R²adj: coeficiente de determinación ajustado; P, p-valor.

El coeficiente de determinación del modelo **M8p** fue de 0.93 lo cual indica que los predictores seleccionados explican de manera adecuada el cambio en la variable de respuesta, se observa que los predictores significativos son peso, los pliegues pierna máxima, abdominal y el diámetro biliocrestal, los pliegues tricipital y muslo frontal están muy cercanos a la significancia estadística. El coeficiente de determinación ajustado fue de 0.92, se mantiene un EER = 2.9 kg el valor *p* obtenido es de 2.2e-16.

En la Figura 7 se muestra los residuos obtenidos con el modelo **M8p**, los cuales presentan una distribución homocedástica alrededor del 0, con una varianza de ± 4 kg, se observa que alrededor del 85% de los datos de la muestra se encuentran dentro de la zona de ± 2 kg.

En la Figura 8 gráfica Q-Q, se observa que los residuos calculados presentan una tendencia a la normalidad de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk donde se obtuvo un valor de *p* = 0.70 lo que permite inferir que los residuos presentan una distribución normal, se observa en la zona superior derecha 2 mediciones presentan una desviación, comparando contra el modelo **M14p** se observa una mejora en el comportamiento de los datos.

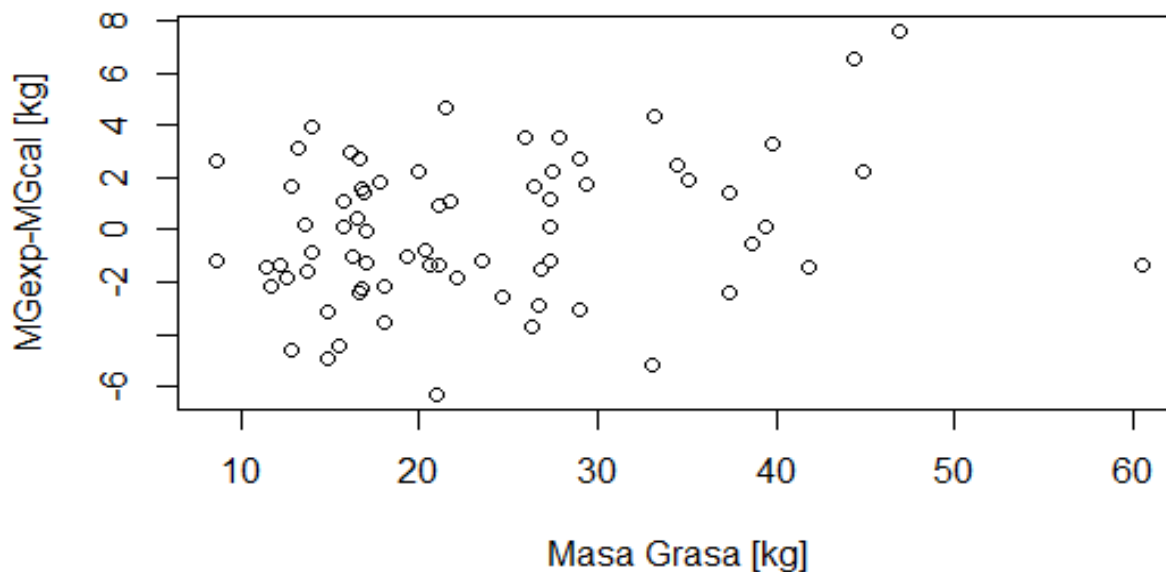


Figura 7. Gráfico de los residuales calculados y predichos por el modelo M8p.

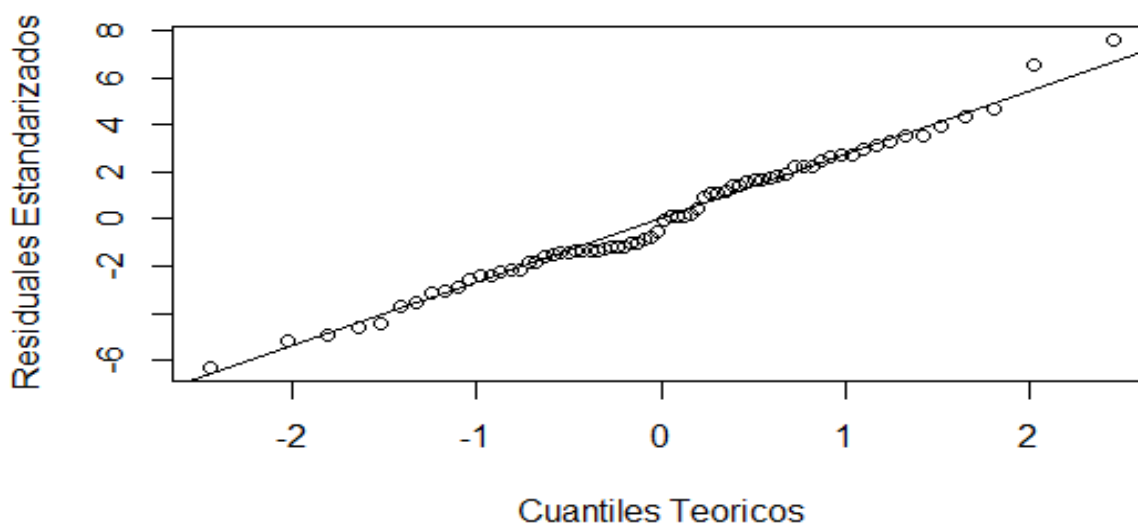


Figura 8. Gráfico Q-Q de los cuantiles de los residuos del modelo M8p.

La Tabla 7 muestra el factor de inflación de la varianza (VIF) para los predictores del modelo **M8p**, 6 presentaron valores <5 , Denis (2020) reporta que los valores VIF se encuentren dentro del intervalo 2-5, lo cual disminuye la posibilidad de colinealidad entre ellos, considerando lo anterior los pliegues subescapular y abdominal están por encima de este rango.

Tabla 7. Valores calculados VIF de los predictores del modelo M8p

Peso 4.78	Tricipital 3.66	Subescapular 7.81	Supraespinal 4.40	Abdominal 8.92	Muslo F. 3.77
Pierna M. 3.02	Biliocrestal 2.37				

El modelo **M8p** se muestra en la Ecuación 2.

$$\text{MG (M8p)} = -29.20 + 0.36 (P) + 0.18 (\text{Tri}) - 0.12 (\text{Sub}) + 0.01 (\text{Sup}) + 0.19 (\text{Abd}) + 0.12 (\text{Mus}) + 0.15 (\text{Pier}) + 0.51 (\text{DBi})$$

$$R^2\text{Adj} = 0.92$$

$$\text{EER} = 2.9 \text{ kg} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde P; peso, Tri; tricripital, Sub; subescapular, Sup; supraespinal, Abd; abdominal, Mus; Muslo F., Pier; pliegue de pierna máxima, DBi; diámetro biliocrestal

Por las pruebas mostradas se concluye que el modelo **M8p** presenta una capacidad de predicción adecuada de la MG de mujeres con normopeso y sobrepeso. La Tabla 8 muestra el valor obtenido de la MG con el método de comparación (PDA) vs el modelo **M8p** donde se observa que las diferencias son mínimas entre ellos.

Tabla 8. Masa grasa calculada por PDA y predicha por el modelo M8p en los grupos de ajuste y validación

METODO	Muestra de ajuste 70 mujeres MEAN±SD	Muestra de validación 25 mujeres MEAN±SD
PDA (kg)	23.4±10.4	21.3±9.3
M8p (kg)	23.4±10.2	20.9±9.9

PDAkg, pletismografía por desplazamiento de aire masa grasa en kg calculada; M8p, modelo con 8 parámetros masa grasa en kg predicha; MEAN, media; SD, desviación estandar.

Discusión

La muestra total de 95 mujeres fue dividida en dos grupos, el primer grupo llamado muestra de ajuste (70 mujeres) y la segunda muestra de validación (25 mujeres), se eligió esta distribución, ya que al ser una muestra pequeña y a conveniencia se consideró que el grupo de ajuste debería tener la mayor cantidad de muestra posible el cual permitiera obtener valores estadísticos adecuados a la predicción de la MG y con la muestra de validación que no fueron contemplados en el modelo validar el modelo elegido que prediga la MG en mujeres con similitudes al grupo de ajuste.

Los antecedentes citados y mencionados donde se han desarrollado modelos con variables antropométricas simples para predecir la MG, %MG, masa libre de grasa (MLG), etc., en su mayoría han logrado correlacionar adecuadamente las respuestas obtenidas con un método indirecto como DEXA, PDA, etc., (Sandhu, Gupta y Shenoy 2010; Lee et al. 2017), sin embargo, han sujetado su análisis estadístico en un par de criterios como son el R² y el EER, que como se ha mostrado sólo explican la capacidad del modelo de reproducir los valores utilizados durante el ajuste, no se menciona con lo referente a la significancia estadística de los parámetros elegidos.

En esta investigación se indagó sobre la idea de utilizar diferentes mediciones antropométricas que son muy comunes en la descripción del tejido graso de una persona, estas mediciones estandarizadas (ISAK) muestran de una mejor forma la distribución de la MG en diferentes zonas del cuerpo, algunas de ellas han sido utilizadas dentro de modelos como variables predictoras (Huerta et al. 2007; Lee et al. 2017; Ramos et al. 2018; Castro et al. 2019), las cuales muestran que aportan significancia estadística al modelo. El apearse a la metodología ISAK y contar con instructores certificados, posibilitó la adecuada calibración de los equipos antropométricos utilizados para la obtención de los datos de la muestra de estudio.

El trabajo de Lee et al. (2017), con una muestra considerable en su estudio, el cual incluyó diferentes etnias entre ellas mexicoamericanas obtenidas de las encuestas realizadas NHANES, desarrolló modelos para predecir la MG, %MG, MLG utilizando como método de referencia DEXA, utilizó como variables antropométricas el peso, talla, perímetro de cintura, perímetro de brazo relajado, perímetro de muslo, perímetro de pantorrilla y los pliegues cutáneos de tríceps y subescapular. Concluyen que, con simples variables antropométricas como el peso, talla, edad, y el perímetro de cintura la predicción de la variable de respuesta es adecuada reporto valores de R²= 0.93 y un EER= 2.4 (kg), comparado con el modelo **M8p** el cual obtuvo valores de R²= 0.93, R²Adj = 0.92 y EER= 2.9 (kg) se aprecia que son acordes con los datos reportados por Lee et al. (2017).

Lee et al. (2017), no reporta si estadísticamente las variables que elige predicen sus variables a medir, solo enfatiza que son significativas a sus modelos propuestos en su estudio. En este trabajo se reporta el valor de R²Adj= 0.92 lo que permite penalizar los modelos con una complejidad mayor a la necesaria para describir la variable de respuesta, este valor es un buen criterio final de los predictores y su número (Denis 2020).

El R^2 tiene la desventaja de siempre aumentar con el número de predictores utilizados en el modelo (Denis 2020), lo que ocasiona que si esto no se toma en cuenta tiende a generar modelos que sobre ajustan con una capacidad débil de predicción, por lo que aquí se buscó un adecuado valor de R^2 Adj y el número de parámetros.

Castro et al. (2019), desarrollaron un modelo para predecir la MLG en una muestra de estudio de 275 adultos jóvenes a partir de variables antropométricas como el peso, talla, perímetro de cintura, los pliegues del tríceps y subescapular y el diámetro abdominal sagital, su modelo ajustado predice adecuadamente la MLG de su muestra comparado con el PDA, obteniendo una $R^2= 0.93$ y $EEE= 2.6$ kg, calcula el factor de inflación de la varianza $VIF= 2.28$, C_p de Mallow's= 4 parámetros, en su conclusión final menciona que su modelo es parsimonioso y con criterios estadísticos que le permiten predecir adecuadamente la MLG.

En esta investigación se utilizó los criterios estadísticos específicos (Castro et al. 2019; Denis 2020; Faraway 2004), como directrices en la determinación de las características finales del modelo como son: números de parámetros, colinealidad y significancia estadística, los valores obtenidos son R^2 Adj =0.92, un $EER= 2.9$ kg, $C_p= 7.8$ con $p= 8$ parámetros, el valor de C_p es menor al número de parámetros al modelo ajustado, los predictores del peso, tricípital, supraespinal, muslo frontal, pierna máxima (pantorrilla) y biliocrestal utilizados en el modelo **M8p** tuvieron valores $VIF <5$, y los predictores del subescapular y abdominal fueron los únicos en presentar valores $VIF >5$, aun así el modelo no presenta colinealidad y es parsimonioso, el valor de $RMSE= 3.15$ obtenido sobre la muestra de validación mostró que el poder de predicción obtenido es adecuado, por lo que es concordante con la investigación de Castro et al. (2019), en que tales criterios estadísticos son suficientes para seleccionar un modelo lineal múltiple.

La interrogante que surge de las investigaciones de Lee et al. (2017); Castro et al. (2019), son ¿Por qué, aunque midieron diferentes variables antropométricas deciden quedarse con modelos con variables antropométricas simples?, ¿Si se utilizan estas variables antropométricas se llegaría a los mismos resultados?, tal vez las respuestas a estas preguntas se pueden entender por la formación del investigador o el de las personas las cuales se pretenden que se utilicen el modelo desarrollado.

El planteamiento de mantener ciertos números de variables antropométricas dentro del modelo no fue solo buscar disminuir el error obtenido en el cálculo de la MG, como lo muestran los resultados se obtuvo una varianza total de ± 2 (kg), la cual es del mismo orden que las reportadas por Lee et al. (2017) y Castro et al. (2019). Sin embargo, la diferencia de este modelo respecto de los anteriormente mencionado recae en los predictores utilizados en el modelo, ya que estos ubican la posición de la MG en el sujeto evaluado además que el valor numérico de éstos caracteriza la distribución parcial de la MG (Esparza et al. 2019), conocer la distribución ayudaría a mejorar las recomendaciones, desarrollar dietas efectivas y programas de ejercicio enfocados a la disminución de la condición de obesidad del sujeto.

Diferentes combinaciones de estas variables se probaron en el ajuste de diversos modelos, los cuales presentan distintos valores de los criterios estadísticos utilizados y significancia de los coeficientes finales (Denis 2020; Faraway 2004; Versani 2004). El modelo **M8p** fue seleccionado por presentar el mejor desempeño en el cálculo de la cantidad de MG (menor varianza) tanto en la muestra de ajuste como en la validación, los 5 criterios utilizados R^2 , EER , VIF , C_p , $RMSE$ presentaron valores óptimos, por último los predictores permiten dar una idea clara de la distribución de la MG en el cuerpo del sujeto evaluado.

Con lo que respecta al diámetro biliocrestal utilizado en el modelo siempre mostró ser significativo en todos los ajustes en los que se utilizó experimentalmente. Se encontró que al medir diámetro biliocrestal se debe considerar el desplazamiento del tejido graso cuando se realiza una ligera presión con el calibre de grandes diámetros en las ubicaciones de las cretas ilíacas, este desplazamiento incrementa con respecto a la obesidad del sujeto. El diámetro biliocrestal y su significancia en el ajuste de modelos para el cálculo de la MG es un hallazgo interesante que puede servir para que otros investigadores tomen en cuenta esta variable antropométrica que no ha sido contemplada en los trabajos reportados en los antecedentes (Huerta et al. 2007; Lee et al. 2017; Ramos et al. 2018; Castro et al. 2019).

No se debe de omitir que los modelos existentes (Huerta et al. 2007; Lee et al. 2017; Ramos et al. 2018; Castro et al. 2019) y el presentado en este trabajo han sido ajustados utilizando muestras con características particulares y su uso debe ser validado al utilizarse con muestras que presenten similitudes estadísticas respecto de la muestra con la que fueron realizados, generalizar los resultados obtenidos a toda la población podría generar resultados inadecuados. Durante el análisis estadístico, se encontraron mejoras para la metodología que se utilizó en este estudio y que deben ser tomadas en cuenta por quienes deseen replicar el trabajo (Faraway 2004; Denis 2020; Versani 2004; Abhijit 2017).

Una limitante del presente trabajo es el tamaño de la muestra conseguida (95 participantes) lo cual fue elegida a conveniencia, lo cual debe considerarse que los resultados conseguidos deberán de ser interpretados con cautela por investigadores que deseen replicar este trabajo o los citados anteriormente (Huerta et al. 2007; Lee et

al. 2017; Ramos et al. 2018; Castro et al. 2019), se deben de llevar a cabo en muestras similares a la investigación, ya que con muestras diferentes a la conseguida en este trabajo o los citados se podría obtener sesgos en la obtención de los resultados.

Por último, el modelo ajustado se basa en el modelo de dos componentes, se debe tener mesura en la interpretación de los datos con el modelo debido a que las densidades obtenidas durante la fase experimental PDA (BOD POD) no son constantes y varían con la variabilidad biológica del sujeto, etnicidad, dieta, etc. (Werdein y Kely 1960; Durnin y Womersly 1974; Martin 1984; Kerr 1988), al utilizar el PDA se deben cuantificar el porcentaje de error sobre la medición de la MG ya que, aunque ha sido comparado con métodos de referencia como DEXA, el porcentaje de error que es permitido se debe de fijar a partir de la muestra que uno desee evaluar (Fosbøl y Zeranh 2015).

Una fortaleza en este trabajo de investigación es utilizar la metodología antropométrica ISAK (Esparza et al. 2019), llevarla a cabo es de importancia en la obtención de datos, ya que se evitan sesgos importantes en las mediciones y estas son reproducibles, se recomienda su implementación para nuevas investigaciones que quieran replicar o mejorar este trabajo, es de suma importancia mencionar como se obtuvieron los datos.

Otra fortaleza fue realizar una adecuada metodología estadística (Denis 2020; Faraway 2004; Versani 2004; Abhijit 2017) que pueda sostener los resultados presentados, lo cual fue empleado en este trabajo, generando un modelo estadísticamente potente (predictivo), resultados confiables y teniendo similitudes con otros trabajos.

Conclusiones

El modelo desarrollado predice adecuadamente la MG de mujeres mexicanas con y sin exceso de masa grasa corporal, así como en poblaciones similares a la muestra de esta investigación, dando al profesional de salud una opción más de evaluar adecuadamente este tejido, permitiendo dar un tratamiento óptimo.

References

- Ghatak, A. (2017). *Machine learning with R*. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6808-9>
- Castro-Porras, L., Rojas-Russell, M., Villanueva-Sánchez, J., & López-Cervantes, M. (2019). An anthropometry-based equation of fat mass percentage as a valid discriminator of obesity. *Public Health Nutrition*, 22(7): 1250-1258. <https://doi.org/10.1017/S1368980018004044>
- Torres, D., Izquierdo, G., Cruz, B. (2015). Panorama de la obesidad en México. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 53(2): 240-249.
- Dempster, P., Aitkens, S. (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(12): 1692–1697. <https://doi.org/10.1249/00005768-199512000-00017>
- Denis, D. (2020). *Univariate, Bivariate, and Multivariate Statistics Using R: Quantitative Tools for Data Analysis and Data Science*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119549963>
- Durnin, J. V., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British journal of nutrition*, 32(1): 77–97. <https://doi.org/10.1079/bjn19740060>
- Ros, F.E., Cristóbal, R.V., Marfell-Jones, M. (2019). Protocolo internacional para la valoración antropométrica. *Publicado por Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría*.
- Faraway, J.J. (2004). *Linear models with R*. Chapman and Hall/CRC, Florida.
- Fosbøl, M.Ø., Zerahn, B. (2015). Contemporary methods of body composition measurement. *Clinical physiology and functional imaging*, 35(2): 81–97. <https://doi.org/10.1111/cpf.12152>
- Huerta Huerta, R., Esparza-Romero, J., Urquidez, R., Pacheco, B.I., Valencia, M.E., Alemán-Mateo, H. (2007). Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(4): 357-365.
- Kasper, A.M., Langan-Evans, C., Hudson, J.F., Brownlee, T.E., Harper, L.D., Naughton, R.J., Morton, J.P., Close, G.L. (2021). Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*, 13(4): 1075. <https://doi.org/10.3390/nu13041075>

- Kerr, D.A. (1988). An anthropometric method for fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses in males and females age 6 to 77 years. M.Sc Thesis, *Simon Fraser University*.
- Lee, D.H., Keum, N., Hu, F.B., Orav, E.J., Rimm, E.B., Sun, Q., Willett, W.C., Giovannucci, E.L. (2017). Development and validation of anthropometric prediction equations for lean body mass, fat mass and percent fat in adults using the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2006. *British journal of nutrition*, 118(10) 858–866. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002665>
- Lee, D.H., Keum, N., Hu, F.B., Orav, E.J., Rimm, E.B., Willett, W.C., Giovannucci, E.L. (2018). Predicted lean body mass, fat mass, and all cause and 90 cause specific mortality in men: prospective US cohort study. *BMJ*, 362, k2575. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2575>
- Martin, A. (1984). An anatomical basis for assessing human body composition: evidence from 25 dissections, M.Sc thesis, *Simon Fraser University*.
- Macias, N., Alemán-Mateo, H., Esparza-Romero, J., Valencia, M.E. (2007). Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutrition journal*, 6, 18. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-6-18>
- Ramos-Jiménez, A., Hernandez-Torres, R.P. Murguía-Romero, M. (2018). Anthropometric equations for calculating body fat in young adults. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 68. 111-121. <https://doi.org/10.37527/2018.68.2.002>
- Romero-Martínez, M., Shamah-Levy, T., Vielma-Orozco, E., Heredia-Hernández, O., Mojica-Cuevas, J., Cuevas-Nasu, L., Rivera-Dommarco, J. (2019). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut 2018): metodología y perspectivas. *Salud Pública De México*, 61(6), 917-923.
- Sandhu, J.S., Gupta, G., Shenoy, S. (2010). Prediction equation for calculating fat mass in young Indian adults. *Asian journal of sports medicine*, 1(2), 101–107. <https://doi.org/10.5812/asjasm.34862>
- Verzani, J. (2004). Using R for Introductory Statistics. *Chapman and Hall/CRC*. <https://doi.org/10.4324/9780203499894>
- Werdein, E.J., Kyle, L.H. (1960). Estimation of the constancy of density of the fat-free body. *Journal of Clinical Investigation*, 39(4), 626–629. <https://doi.org/10.1172/JCI104077>

Funding

No funding was received for conducting this study.

Conflicts of Interest

Los autores mencionan que no se presentaron conflictos de interés en la realización del trabajo.

About the License

© The Author(s) 2023. The text of this article is open access and licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.