



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

“Validación de una ecuación predictiva de masa libre de grasa basada en la densidad corporal determinada por un modelo bicompartamental, utilizando predictores antropométricos en adultos del estado de Hidalgo con sobrepeso u obesidad.”

Tesis que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS Y DE LA SALUD

Presenta:

LILIA VIRGINIA CASTRO PORRAS

Director de Tesis

DR. MAURO E. VALENCIA JUILLERAT

San Agustín Tlaxiaca Hgo. a 6 de diciembre de 2012





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
 INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS Y DE LA SALUD

Of. No MCBS/2012/94
 Asunto: Asignación de Jurado de examen

L. N. Castro Porras Lilia Virginia
Candidata a Maestra en Ciencias Biomédicas y de la Salud

Por este conducto le comunico el jurado que le fue asignado a su Tesis titulada "Validación de una ecuación predictiva de masa libre de grasa basada en la densidad corporal determinada por un modelo bicompartamental, utilizando predictores antropométricos en adultos del estado de Hidalgo con sobrepeso u obesidad", con el cual obtendrá el **Grado de Maestra en Ciencias Biomédicas y de la Salud** y que después de revisarlo han decidido autorizar la impresión de la misma, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

- PRESIDENTE DR. ROBERTO ÁVILA POZOS
- PRIMER VOCAL DR. JAVIER VILLANUEVA SÁNCHEZ
- SECRETARIO M. en N.H. AMANDA PEÑA IRECTA
- SUPLENTE DR. MAURO E. VALENCIA JUILLERAT
- SUPLENTE DR. RICARDO CRUZ CASTILLO

Sin otro asunto en particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.



Atentamente
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
 San Agustín Tlaxiaca Hgo. a 6 de noviembre de 2012

M.C. ESP. JOSÉ MARÍA BUSTO VILLAREAL
 DIRECTOR

M.C. ESP. MARICELA GUEVARA CABRERA
 COORDINADORA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO ICSA

DR. JUAN ELIEZER ZAMARRIÑA CALDERÓN



Durante el desarrollo de estos estudios, se contó con una beca de manutención otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), número de beca 247539.

Se agradece a la Universidad de Sonora por el apoyo y facilidades otorgadas para la capacitación en el uso del pletismógrafo por desplazamiento del aire.

A Luis,

*Por la alegría de coincidir en la inmensidad del tiempo y del espacio
y compartir el instante de la vida.*

A Erika y Luis Eduardo,

Por el maravilloso sentido que dan a mi existir.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Mauro E. Valencia Juillerat por su acertada conducción en el desarrollo de este proyecto, lo que sin duda posibilitó el logro de los objetivos.

Al Dr. Eliezer Zamarripa Calderón por la confianza brindada desde siempre.

Al Dr. Roberto Ávila Pozos porque con su estilo reflexivo, lógico y propositivo enriqueció sustancialmente el trabajo. Gracias por el apoyo.

Al Dr. Javier Villanueva Sánchez, a quien admiro y respeto por su alto sentido de compromiso, conocimiento, sencillez y espíritu generoso, agradezco las invaluable aportaciones a este proyecto y su contribución a mi formación profesional. Particularmente por su aliento, ejemplo y amistad.

A los profesores que compartieron su talento y conocimiento, de forma singular a la Dra. Rosa María Ortiz Espinosa (†), quién me infundió ánimo para continuar por el camino de la investigación.

A todas las personas que de alguna manera participaron e hicieron posible este proyecto, especialmente y con cariño a mi madre.

Índice General

Índice General.....	i
Índice de Figuras	iv
Índice de Tablas.....	vi
Abreviaturas.....	vi
 Resumen	
 Abstract	
 1. Introducción	1
2. Antecedentes.....	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Antecedentes del problema.....	3
2.3 Marco teórico	4
2.3.1 Composición corporal	4
2.3.2 Métodos de estudio de la composición corporal	9
2.3.3 Principios y técnicas de medición de composición corporal.....	10
2.3.3.1 Técnicas antropométricas	10
2.3.3.1.1. Masa Corporal Total.....	11
2.3.3.1.2. Estatura Corporal.....	11
2.3.3.1.3. Índice peso/estatura	12
2.3.3.1.4. Edad.....	12
2.3.3.1.5. Sexo	13

2.3.3.1.6. Pliegues.....	14
2.3.3.1.7. Desplazamiento de aire por pletismografía	16
2.3.4 Epidemiología de la obesidad	18
2.4 Herramientas matemáticas	23
2.4.1 Fuentes de error	23
2.4.2 Ecuaciones estimativas de la composición corporal	26
2.4.3 Índice de Masa Corporal (IMC).....	30
2.4.4 Área de Superficie Corporal.....	34
3. Justificación.....	35
4. Hipótesis.....	36
5. Objetivos.....	37
5.1 Objetivo General.....	37
5.2 Objetivos Específicos	37
6. Sujetos y métodos.....	38
6.1 Sujetos.....	38
6.1.1 Forma de reclutamiento.....	38
6.1.2 Criterios de Inclusión	38
6.1.3 Criterios de Exclusión.....	38
6.1.4 Criterios de Eliminación	39
6.2 Métodos	39
6.2.1 Diseño de Estudio.....	39
6.2.2 Tamaño y composición de la muestra.....	40
6.2.3 Período del estudio	40
6.2.4 Lugar del estudio.....	40

6.2.5 Requisitos previos al estudio.....	40
6.2.6 Proceso del estudio.....	41
6.2.7 Análisis de datos.....	42
7. Aspectos éticos	44
7.1 Aspectos éticos	44
7.2 Bioseguridad	45
8. Resultados.....	46
9. Discusión de resultados	61
10. Conclusiones y sugerencias	63
11. Referencias	64

Anexos

Anexo A. Técnicas de estudio de la composición corporal del organismo: ventajas e inconvenientes

Anexo B. Resumen de ecuaciones de composición corporal selectas

Anexo C. Instrumento de recolección de datos

Anexo D. Tamaño de muestra para estimar el coeficiente de concordancia y correlación

Anexo E. Proceso detallado del estudio

Anexo F. Análisis detallado de los datos

Anexo G. Descripción y Operacionalización de las variables

Anexo H. Formato de consentimiento informado

Anexo I. Reporte de resultados detallado

Glosario

Índice de Figuras

Figura 2.1 Niveles para el estudio de la composición corporal.....	5
Figura 2.2 Métodos para optimizar la exactitud.....	16
Figura 2.3 Distribución por género de sobrepeso y obesidad en adultos mexicanos mayores de 20 años	19
Figura 2.4 Cifras de mortalidad en hombres y mujeres adultos según índice de masa corporal.....	22
Figura 2.5 Fuentes de error en los métodos antropométricos.....	26
Figura 2.6 Relación entre el porcentaje de grasa y el Índice de masa corporal para mujeres y hombres entre 3 y 18 años de 1994 a 1998.	31
Figura 6.1 Flujo del proceso para realizar el estudio.	41
Figura 6.2 Pasos del método de análisis de datos.....	42

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Cambios en la composición corporal con la edad y su impacto en las medidas antropométricas	13
Tabla 2.2. Sitios para medición de pliegues	14
Tabla 2.3 Sitios para medir perímetros.....	15
Tabla 2.4 Ecuaciones disponibles en el BOD POD.....	18
Tabla 2.5 Prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos de acuerdo a encuestas nacionales en México.	20
Tabla 2.6 Clasificación de sobrepeso y obesidad por IMC según la Organización Mundial de la Salud	21
Tabla 2.7 Método de Durnin y Womersley para el cálculo de grasa y masa corporal libre de grasa.	27

Abreviaturas

ACT	Agua Corporal Total
DXA	Absorciometría Dual de Rayos X
IAC	Índice de Adiposidad Corporal
IC	Índice de Conicidad
ICSa	Instituto de Ciencias de la Salud
IMC	Índice de Masa Corporal
KCT	Potasio Corporal Total
MCC	Masa Celular Corporal
MCT	Masa Corporal Total
MG	Masa Grasa
MLG	Masa Libre de Grasa
MCT	Masa Corporal Total
SAC	Superficie del Área Corporal
UAEH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Resumen

En México el 70% de la población adulta está en situación de sobrepeso u obesidad y no se cuenta con herramientas de uso sencillo para estimar la masa grasa. **OBJETIVO.** El propósito de este estudio fue obtener una ecuación de predicción a partir de medidas antropométricas orientada a la población adulta con sobrepeso u obesidad, utilizando como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire. **METODOLOGÍA.** El estudio incluyó 119 sujetos adultos con sobrepeso u obesidad del estado de Hidalgo, México (61 mujeres y 58 hombres) de los cuales se obtuvo el porcentaje de grasa, estatura, peso, circunferencias de abdomen, pantorrilla y muñeca, diámetro sagital abdominal y pliegues subescapular y tricípital. El porcentaje de grasa fue obtenido por pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod) utilizando la fórmula de Brozek, las mediciones antropométricas fueron obtenidas directamente con cinta antropométrica, estadiómetro y plicómetro, el peso fue obtenido con la báscula del bod Pod. El total de la muestra fue dividido en dos partes, la primera (68 sujetos) para obtener a través de un modelo de regresión múltiple la mejor ecuación de predicción de la masa libre de grasa y la segunda (51 sujetos) para validar la ecuación obtenida. Procedimientos de ANOVA, regresión múltiple y Bland-Altman fueron usados para analizar los datos. **RESULTADOS:** La mejor ecuación de predicción fue $MLG = (-37.58 + (\text{peso} \times 0.31) + (\text{Estatura} \times 0.38) + (\text{Sexo} \times 7.03))$, con un R^2 de 0.897 y un RMSE de 3.1 kg. La media \pm desviación estándar de la MLG estimada fue de 52.14 ± 9.7 comparada con 53.04 ± 9.1 medida. El resultado de la validación cruzada no mostró diferencias significativas con la línea de identidad, mostrando que la ecuación de predicción obtenida fue precisa. **CONCLUSIÓN:** La nueva ecuación de predicción es válida para la población de procedencia. El uso de ésta podría coadyuvar al personal de salud en el diagnóstico de la obesidad y a una mayor adherencia del paciente al tratamiento.

Palabras clave: Composición corporal, masa grasa (MG), masa libre de grasa (MLG), métodos antropométricos, ecuaciones de predicción, pletismografía por desplazamiento de aire (PDA).

Abstract

In Mexico, 70% of the adult population is overweight or obese status and there is no user-friendly tools to estimate body fat.. **OBJECTIVE.** The purpose of this study was to obtain a prediction equation from anthropometric measures aimed at the adult population overweight or obese, using as the reference method by air displacement plethysmography. **METHODOLOGY.** The study included 119 adults with overweight or obese in Hidalgo, Mexico (61 women and 58 men) of which was obtained fat percentage, height, weight, abdominal, calf and wrist circumferences, abdominal sagittal diameter and right subscapular and triceps skinfold thickness. The percentage of fat was obtained by air displacement plethysmography (Bod Pod) using the formula of Brozek, anthropometric measurements were obtained directly with anthropometric tape, and skinfold caliper stadiometer, weight was obtained with the Bod Pod scale. The total sample was divided into two parts, the first (68 subjects) to get through a multiple regression model the best equation for predicting fat-free mass and the second (51 subjects) to validate the equation obtained. ANOVA, multiple regression and Bland-Altman procedures were used to analyze the data. **RESULTS:** The best prediction equation was $FFM = (-37.58 + (\text{weight} \times 0.31) + (\text{Height} \times 0.38) + (\text{Sex} \times 7.03))$, $R^2 = 0.897$ and $RMSE = 3.1$ kg. The mean \pm standard deviation of FFM estimated was 52.14 ± 9.7 compared with 53.04 ± 9.1 measured. The cross validation result showed no significant difference with the line of identity, showing that the prediction equation obtained was accurate. **CONCLUSION:** The new prediction equation is valid for the population with similar characteristics. Use of this could contribute to health personnel in the diagnosis of obesity and increased patient adherence to treatment.

Key words: *Body composition, fat mass (FM), fat free mass (FFM), anthropometric methods, prediction equations, air displacement plethysmography (ADP).*

1. Introducción

La transformación en la composición corporal que está sufriendo la población mexicana, producto del cambio cultural y del proceso de globalización, ha originado un cambio en materia de epidemiología, favoreciendo una mayor prevalencia de enfermedades crónico-degenerativas que enfermedades infecto-contagiosas (1).

Resultado del estudio de esta problemática, está una fuerte asociación de la obesidad con estas enfermedades, cuya presencia implica una merma en la calidad de vida de quién la padece y de quienes lo rodean, puesto que afecta desde la pérdida de autoestima hasta la vida misma (2).

Sin dejar de lado el gran impacto económico que esto representa para las familias y el sector salud. De seguir con esta tendencia, los costos asociados a la obesidad, enfermedades concomitantes y sus complicaciones serán una carga imposible de sostener.

Por otra parte, desde hace más de un siglo ha existido el interés por determinar con la mayor precisión posible la composición del ser humano, mismo que ha permitido fraccionarlo en diferentes componentes para su estudio y ha propuesto muy variadas técnicas y métodos para llevarlo a cabo (3). Desafortunadamente, gran parte de estas técnicas no están disponibles para la población en general, tanto por su costo como por las condiciones necesarias para llevarlas a cabo (4-9).

Actualmente, se cuentan con algunas herramientas coadyuvantes en las tareas del personal de salud para obtener mejores diagnósticos y derivado de éstos mayor apego a los tratamientos, entre las más sencillas y muy frecuentemente utilizadas se encuentra el Índice de Masa Corporal (IMC) o índice de Quetelet (10).

El IMC relaciona la masa corporal total (conocida como peso) y la estatura del sujeto, proporcionando una forma sencilla de clasificarlo (delgado, obeso), sin embargo, es un indicador poco sensible para el diagnóstico de exceso de grasa (obesidad) (11).

Durante el presente trabajo se compara el IMC con el porcentaje de grasa corporal medido en un modelo bicompartamental utilizando pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod). Se propone y valida una ecuación matemática como método alternativo de estimación de grasa corporal, que represente una herramienta complementaria al IMC para el diagnóstico de la obesidad.

El modelo propuesto es válido para la población mexicana entre 20 y 50 años de edad del centro de México que se encuentre en situación de sobrepeso u obesidad. Para su construcción se consideran medidas antropométricas exclusivamente, siendo la base de esta decisión la facilidad que representa su uso en la práctica clínica.

Los datos son provenientes de 119 sujetos voluntarios (61 mujeres y 58 hombres) que participaron en el estudio. La razón para elegir esta población objetivo es que son individuos en una etapa de la vida económicamente activa y que en el centro de México, al igual que en el resto del país, la prevalencia de sobrepeso u obesidad es de 7 de cada 10 personas de 20 años o más (12).

Hay pocos estudios realizados para población mexicana comparativamente con otras poblaciones, de los que hay, la gran mayoría se han desarrollado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) ubicado en la zona noroeste del país (13-18). Por lo que cabe destacar el precedente que se asienta al ser el primer estudio de este tipo para la población del estado de Hidalgo y regiones circunvecinas.

2. Antecedentes

2.1 Generalidades

La aplicación de modelos de predicción de la composición corporal es un tema de creciente interés por parte de la comunidad científica en materia de salud, existiendo mayor interés dada la prevalencia de obesidad en países como México.

Los modelos de predicción cuando están basados en datos sencillos de obtener y con un bajo costo, representan una alternativa práctica y viable como coadyuvante en el diagnóstico y tratamiento de la obesidad.

Para evaluar una nueva prueba que diagnostique la condición de obesidad entendida como exceso de tejido adiposo, debe tenerse un método muy preciso y confiable para medir esa misma condición. Al examen que da la certeza de la condición se le llama estándar de oro o patrón de oro. Es vital que la selección del patrón de oro sea adecuada, puesto que la evaluación de la prueba nueva será completamente inapropiada si no se tiene certeza de la presencia o ausencia de la condición (19).

2.2 Antecedentes del problema

El Índice de Masa Corporal (IMC) construido a partir de la relación de la masa corporal total dividida entre la estatura elevada al cuadrado ($IMC = \text{peso} / \text{talla}^2$ (kg/m^2)), es un indicador que se utiliza para catalogar a las personas en cuanto a su masa, pero no proporciona valores métricos de la composición corporal, específicamente de la Masa Grasa (MG) ó Masa Libre de Grasa (MLG) (20).

La importancia que tiene el conocimiento de la composición corporal, se debe a que de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010 para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, la obesidad está definida en términos de exceso de Masa Grasa (21).

La mayoría de modelos de predicción de la composición corporal (o la MG) se han desarrollado para poblaciones no hispanas, principalmente para población estadounidense caucásica (22), dichos modelos han sido utilizados por otras poblaciones por carecer de modelos de predicción específicos. Sin embargo, se ha visto que los modelos predicen mejor cuando son aplicados a la población de la cual fueron extraídos (23).

Datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006 (12), muestran que México se encuentra entre los países de mayor prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos, con 7 de cada 10 sujetos mayores de 20 años en esta situación.

Diversos estudios revelan una alta correlación negativa entre la longevidad y la obesidad (24) así como una fuerte asociación entre la ésta y otras enfermedades (25-31), mismas que merman la calidad de vida de quien la padece y generan altos costos para el sistema de salud. De seguir con esta tendencia, se estima que para el año 2015, se generará una carga económica superior a los 100 mil millones de pesos, de los cuales el 70 por ciento serán destinados a gastos médicos (32). Sin dejar de lado el incremento del problema de la discriminación asociada a la obesidad(33-34).

2.3 Marco teórico

2.3.1 Composición corporal

El estudio de la composición corporal ha ocupado a diversos investigadores a través de la historia, teniéndose referencias que datan del año 400 AC cuando el hombre en la antigua Grecia se pregunta de qué está compuesto y obtiene respuestas simples como elementos básicos, similares a los que encontraba en la naturaleza: agua, tierra, aire y fuego (35).

Con el paso del tiempo, la observación constante del cuerpo humano e innovación de diversos materiales y métodos para su estudio, han permitido conocer cada vez con mayor precisión la composición corporal de un sujeto. La investigación moderna de la composición corporal data de apenas más de un siglo, destacando diversas aportaciones que fundamentan su estudio: 1) Quetelet en 1871; observa que el peso parecía aumentar en

proporción al cuadrado de la estatura; 2) Magnus-Levy en 1906 crea el concepto de masa corporal sin grasa; 3) Matiegka en 1921 propone el modelo antropométrico para estimar la masa muscular corporal total; 4) Hevesy en 1934 con el uso del deuterio estima el volumen de agua corporal total; 5) Stuart en 1940 usa la radiografía para estimar sombras óseas; 6) Behnke en 1942, fundamenta el cálculo de la proporción relativa de tejido magro y grasa en el cuerpo humano con base en el principio de Arquímedes; 7) Brozek en 1953 analiza la técnica densitométrica; 8) Siri en 1961 desarrolla un modelo de tres componentes para estimar la grasa corporal total; 9) Forbes en 1961, mediante el uso de la cuenta de ^{40}K corporal total estima el contenido de masa grasa y tejido magro; 10) Thomasset en 1962 introduce el método de bioimpedancia eléctrica; 11) Harker en 1973 mediante el uso del método de conductividad eléctrica corporal total; 12) Heymsfield en 1979 utiliza la tomografía axial computarizada; 13) Foster en 1984 mide la composición corporal total usando resonancia magnética; 14) Heymsfield en 1990 usa la absorciometría de rayos X de energía dual; 15) Kehayias en 1991 introduce el análisis de la activación de neutrones *in vivo* para evaluar masa grasa; 16) Wang en 1992 propone el modelo de cinco niveles para el estudio de la composición corporal humana y finalmente 17) la introducción de la pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod) aunado a la proliferación de los sistemas de bioimpedancia (BIA) y absorciometría (DXA) han permitido incrementar los trabajos de investigación al hacer más asequibles estas herramientas (36).

Durante el siglo pasado se definieron muchos componentes y con diferentes nombres para el estudio de la composición corporal, pero hoy se reconoce de manera universal el modelo de cinco niveles de Wang y colaboradores (3) por ser uno de los modelos más completos. Los cinco niveles identificados como se muestra en la **Figura 2.1**, son el nivel atómico, el nivel molecular, el nivel celular, el nivel tejido-órganos y el nivel corporal total.

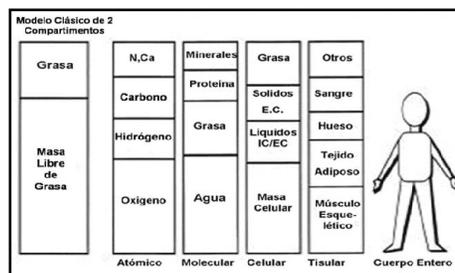


Figura 2. 1 Niveles para el estudio de la composición corporal

El primer nivel (atómico) consta de 11 componentes: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, carbono, Sodio, potasio, cloro, fósforo, calcio, magnesio y azufre. Más del 96% de la masa corporal está formada por los primeros cuatro elementos. La medición de estos elementos se puede realizar mediante técnicas de investigación, como el análisis de activación de neutrones (37) o marcas de algunos elementos como el ^{40}K (38). Las mediciones elementales son importantes en el estudio de la composición corporal, ya que se utilizan en forma directa (p.ej., el balance del nitrógeno como medida del cambio de proteínas) o para estimar los componentes en otros niveles (p.ej., calcio corporal como indicación del mineral óseo total), además existen métodos antropométricos disponibles para estimar la cantidad total de nitrógeno, calcio y potasio a nivel atómico (39).

El segundo nivel de composición consiste en 6 componentes moleculares: agua, proteínas, lípidos, hidratos de carbono, minerales óseos y minerales de tejidos blandos, que ahora ya pueden cuantificarse *in vivo*, excepto el glucógeno. Es posible medir las reservas hepáticas y musculares de glucógeno. La cantidad total de proteína puede estimarse a partir del nitrógeno corporal total (componente del nivel atómico) en un cálculo que asume que la mayor parte del nitrógeno en el cuerpo se incorpora a las proteínas, y que las proteínas contienen 16% de nitrógeno (40). La cantidad de la grasa se estima mediante un modelo de dos componentes en el que el nivel molecular se simplifica a masa corporal total (MCT) = masa grasa (MG) + masa libre de grasa (MLG). Se utilizan varios modelos de dos componentes para estimar la cantidad de grasa, como el peso bajo el agua (41), impedancia bioeléctrica (42), absorciometría dual de rayos X (DXA) (43), conteo de potasio corporal total (39), entre otros.

Cada método depende de una o más suposiciones que relacionan las cantidades mensurables con el componente desconocido que se busca. Por ejemplo, el método de dos componentes del agua corporal total (ACT) supone que la masa libre de grasa tiene una hidratación promedio de 73% ($\text{ACT}/\text{MLG}=0.73$ o $\text{MLG}= \text{ACT}/0.73$). De esta forma, es posible estimar la masa libre de grasa y la grasa (peso corporal – MLG) a partir de la cantidad total de agua corporal. Los métodos antropométricos para estimar la grasa corporal total casi siempre se desarrollan con alguna de estas técnicas como norma de referencia para cuantificar la grasa (39).

Es de especial importancia este nivel de estudio de la composición corporal para el área de valoración nutricional porque la MG y la MLG son los principales componentes en los que se distribuyen las reservas energéticas, encontrándose en la MLG todos los componentes funcionales del cuerpo.

El tercer nivel de composición corporal consiste en tres componentes principales a nivel celular: Células, líquido extracelular y sólidos extracelulares (44). Se cuenta con técnicas de medición para cuantificar el líquido y los sólidos extracelulares, aunque aún resulta difícil cuantificar *in vivo* el peso celular total o el peso de grupos celulares específicos. Moore y sus colaboradores sugirieron un modelo usual de componentes de peso celular a este nivel (45) consideraron la masa como dos componentes: grasa (componente del nivel molecular) y masa celular libre de grasa. Se refirieron a la masa celular libre de grasa como la “masa celular corporal” (MCC), componente encargado de casi todos los procesos metabólicos.

Estos investigadores propusieron que el potasio corporal total (KCT) o potasio intercambiable (ambos componentes del nivel atómico y ambos con cantidades similares) podían utilizarse para estimar la MCC, pues la concentración de potasio en el líquido intracelular es relativamente constante en 150 mmol/L y la proporción entre líquido y sólidos intracelulares es cercana a 4:1 (líquido intracelular = MCC x 0.80)- Entonces, la MCC podía calcularse con base en estas relaciones combinadas con una estimación del potasio corporal total o potasio intercambiable ($MCC = [KCT/150] \times [1/0.80]$, o $0.0083 KCT$). Así, de acuerdo con Moore y sus colegas, el peso corporal era igual a la grasa más la MCC, más los líquidos y los sólidos extracelulares (45).

El cuarto nivel de la composición corporal comprende los principales tejidos y órganos: tejido adiposo, músculo esquelético, hueso, vísceras y otros tejidos. El tejido adiposo incluye las células grasas o adipocitos, los vasos sanguíneos y los elementos estructurales y constituye el principal sitio de almacenamiento, se estima que en los adultos sanos su composición química promedio es 80% de grasa, 18% de agua y 2% de proteína (39).

El tejido adiposo se distribuye sobre todo en los compartimentos subcutáneo y visceral. No son constantes las proporciones del tejido adiposo total en estos compartimentos. La

distribución adiposa se determina por medio del control hormonal y genético, y las propiedades metabólicas del tejido graso varían en las distintas localizaciones anatómicas. Los varones, los ancianos y los sujetos obesos tienden a tener un mayor porcentaje de tejido adiposo en el compartimento visceral en comparación con las mujeres, las personas jóvenes y las delgadas respectivamente (39).

El aumento o la pérdida de peso conllevan diferentes ritmos relativos de cambio en el tejido adiposo de los compartimentos subcutáneo y visceral, y de los diversos sitios subcutáneos. Esta pérdida diferencial del tejido adiposo es importante para la interpretación de las medidas antropométricas. Existe una fuerte relación positiva entre la cantidad de tejido adiposo visceral y los riesgos a la salud por obesidad (39).

El músculo esquelético es el mayor componente dentro de la masa corporal libre de tejido adiposo (MLTA) y representa cerca de la mitad de ésta en los adultos sanos (44). El músculo esquelético consiste en tejido muscular, nervioso y tendones. El músculo esquelético anatómico también incluye tejido adiposo intersticial, cuya cantidad aumenta en algunas enfermedades y con el envejecimiento. Alrededor del 20% del músculo esquelético libre de tejido adiposo es proteína, y el músculo constituye el mayor reservorio de aminoácidos. Es posible que se agote hasta el 75% de la masa muscular esquelética durante la inanición prolongada (39).

El quinto nivel de estudio de la composición corporal es el total que incluye: Cabeza, tronco y extremidades. Para su estudio se utilizan principalmente dimensiones antropométricas como estatura, masa corporal total, volumen, densidad, perímetros, anchuras, circunferencias y grosor de pliegues.

Este modelo de cinco niveles para el estudio de la composición corporal tiene varias características importantes. Primero, el modelo es consistente como un todo y cada componente es distinto(44). Sin, embargo, las relaciones entre los componentes son importantes para los métodos antropométricos; por ejemplo, un grupo de componentes relacionados en los niveles atómico al tisular y sistémico: calcio, mineral óseo, sólidos extracelulares, esqueleto y anchuras de huesos. Cada uno de los componentes es distinto y

aun así, los cinco están vinculados porque son constituyentes o dimensiones diferentes del esqueleto humano. Segundo, existen relaciones de fase estable entre muchos componentes en el mismo o diferentes niveles. La fase estable que se emplea en este caso se refiere a una relación estable entre los componentes durante un periodo específico, casi siempre meses o años (3) .

Estas asociaciones cuantitativas son importantes para desarrollar modelos de composición corporal porque relacionan un componente conocido con una incógnita que se intenta resolver. Por ejemplo, es posible medir el agua corporal total (ACT) y luego calcular la MLG como $ACT/0.73$. Las relaciones de la fase estable son muy importantes en la antropometría porque a pesar de que todas las mediciones antropométricas se hacen a nivel corporal total, se utilizan para inferir datos acerca de los primeros cuatro niveles. Estas relaciones permiten establecer conexiones entre el nivel corporal total y los otros niveles. Además, a menudo se alteran según el género, edad, grupos étnicos y la presencia de enfermedades (46), lo cual modifica las relaciones cuantitativas establecidas entre las dimensiones antropométricas y otros componentes corporales.

2.3.2 Métodos de estudio de la composición corporal

Existen varios métodos para conocer la composición corporal humana y éstos son pieza fundamental para su estudio. El método más directo y exacto se basa en el análisis de la composición del cuerpo inerte (47). Sin embargo, por obvias razones no es un método utilizado en la práctica clínica.

Esta dificultad ha dado origen al planteamiento y desarrollo de métodos alternos, conocidos como métodos indirectos para determinar la composición corporal de un individuo en particular. De forma general, como se muestra en el anexo A, se pueden resumir las distintas técnicas para evaluar la composición corporal, con sus principales ventajas e inconvenientes.

La complejidad para evaluar a los sujetos así como los altos costos del equipamiento, capacitación e instalaciones, ha originado el planteamiento de métodos doblemente indirectos, es decir, métodos validados a su vez con métodos indirectos, tales como las ecuaciones de predicción. Ejemplo de ello son las ecuaciones desarrolladas por Durnin y Womersley (1974) que son ampliamente aceptadas, en las que incluyen la densidad corporal y las mediciones a partir del espesor de 4 pliegues cutáneos (subescapular, suprailíaco, de tríceps y bíceps) para estimar la cantidad de grasa corporal (48).

2.3.3 Principios y técnicas de medición de composición corporal

Existen diferentes premisas y de acuerdo a ellas, diversas formas de abordar la cuantificación de los diversos componentes del cuerpo humano, ya sea por el volumen que ocupa, por la cantidad de agua que posee, por la densidad de los componentes o por la composición atómica o molecular de los mismos. Las técnicas utilizadas en este trabajo están orientadas a la simplicidad en la práctica clínica, sin dejar a un lado su validez, por lo que se describen las que serán utilizadas para obtener las variables de predicción.

2.3.3.1 Técnicas antropométricas

La evaluación antropométrica consiste en la obtención de mediciones corporales que se comparan con valores de referencia y permite cuantificar algunos de los compartimentos corporales. También ayuda a cuantificar cambios en individuos o poblaciones cuando se realiza en forma secuencial (con al menos dos mediciones en el tiempo). La antropometría es un método sencillo, no invasivo y aceptado universalmente para conocer situaciones de exceso, deficiencia o normalidad del estado de nutrición en un individuo o en un grupo. Las mediciones deberán ser realizadas por personal capacitado y con el equipo adecuado (49).

Las mediciones antropométricas incluyen peso corporal, estatura, grosor de pliegues cutáneos, perímetros y anchuras óseas y longitud de partes del cuerpo como extremidades o tronco. Estas medidas corporales pueden utilizarse en la valoración nutricional para obtener

índices o en ecuaciones que precisen el valor absoluto de un componente en alguno de los otros niveles de composición corporal (figura 1) (39). Es importante destacar que ni las variables antropométricas ni las variables de composición corporal se miden con una precisión exacta (20). Las variables o indicadores utilizados para la determinación de la composición corporal en orden de simpleza, son:

2.3.3.1.1. Masa Corporal Total

La masa corporal (referida frecuentemente como peso corporal total o simplemente peso) es la suma de todos los componentes en cada nivel de composición (39). En términos generales se considera que cuando existen variaciones en la masa corporal total de un individuo adulto, éstas se deben a cambios en la magnitud de su depósito de grasa. Dos excepciones importantes a considerar son las variaciones en el contenido de agua (detectable con facilidad a través de la evaluación clínica por la presencia de edema) y en la masa muscular en los sujetos con actividad física intensa (49).

2.3.3.1.2. Estatura Corporal

Esta dimensión también denominada como talla de pie se define como la distancia que hay entre el vértex (punto superior de la cabeza) y la superficie donde se encuentre parado el evaluado. Puede ser medida utilizando un estadiómetro o un antropómetro y una plomada (50).

Una vez que se alcanza la edad mediana ocurre una declinación progresiva en la estatura como resultado de cifosis torácica, compresión de discos intervertebrales y cambio en el ángulo del cuello del fémur. Borkman y colaboradores (51) comunicaron una pérdida de 7.3 cm en hombres de 22 a 82 años de edad y estimaron que 3.0 cm (41%) del cambio total eran de origen secular y 4.3 cm se debían al envejecimiento. Los datos longitudinales de Flynn y colaboradores (52) muestran una disminución de 0.3 cm por decenio en hombres

adultos jóvenes y de 0.8 cm en mujeres, con un incremento gradual de 1.4 cm y 3.3 cm por decenio en mayores de 60 años de edad.

2.3.3.1.3. Índice peso/estatura

La masa de un individuo no permite por sí misma la evaluación de su estado de nutrición. Es necesario considerar el peso en función de las dimensiones de ese sujeto; es decir, utilizar el peso como un índice peso/estatura. Este índice considera el peso, o mejor dicho, el intervalo de peso en que se debe ubicar un sujeto en tablas de referencia, en función de su estatura, sexo, complejión y estado fisiológico. Habitualmente los datos que contienen tablas de referencia representan el valor promedio (el más probable) de una muestra suficientemente grande y representativa de una población dada de sujetos en apariencia sanos (49).

2.3.3.1.4. Edad

Es el tiempo transcurrido entre el nacimiento y el momento actual de un individuo y permite definir las etapas del crecimiento, madurez sexual, envejecimiento; también determina riesgos de sufrir diversas enfermedades (49).

La composición corporal se modifica durante el transcurso de la edad adulta, lo cual debe considerarse en la evaluación de los índices antropométricos. La estatura se disminuye y, si se asume que el peso corporal permanece constante, el anciano tiene más masa grasa y menos masa libre de grasa que una persona más joven del mismo género (53).

La mayor parte de la pérdida de masa libre de grasa se explica por la disminución del músculo esquelético y de las vísceras. La **Tabla 2.1** presenta un resumen acerca de los cambios en la composición corporal con la edad de de cómo éstos afectan las medidas antropométricas.

Tabla 2.1 Cambios en la composición corporal con la edad y su impacto en las medidas antropométricas

Medición antropométrica	Comentario
Peso	El valor de la población promedio aumenta hasta el quinto decenio y luego alcanza una meseta o disminuye
Altura	La estatura disminuye en 1 a 3 cm por cada 20 años después de la madurez; la velocidad de declive en la estatura depende de la raza y el género
Grasa	La grasa aumenta como porcentaje del peso corporal; hay una redistribución de la grasa subcutánea a la grasa interna y entre los diferentes sitios subcutáneos
Masa corporal libre de grasa	La masa corporal libre de grasa disminuye como porcentaje del peso corporal, sobre todo por la pérdida de la masa esquelética y muscular esquelética; la masa de los órganos y vísceras se mantiene igual o disminuye solo un poco con la edad; el músculo esquelético sufre cambios en su composición, que incluye un incremento relativo en el tejido conjuntivo y grasa, con pérdida relativa de las proteínas de las miofibrillas
Pliegue	La compresibilidad de los pliegues cambia con la edad; se pierde la recuperación elástica de la piel y aumenta el periodo de recuperación viscoelástica; a menudo, los pliegues en los ancianos son péndulos y difíciles de medir

Fuente: Studley (1936) y Galen (1975) (54-55)

Es importante destacar la disminución paulatina del contenido de agua corporal, que pasa del 86% a las 24 semanas de gestación, a 73% en el adulto joven, llegando a ser aún menor en el anciano (49).

2.3.3.1.5. Sexo

Otro aspecto importante en la edad adulta es la diferencia porcentual en la proporción de grasa entre las mujeres y los hombres: 28% en las primeras y 18% en los segundos (49).

2.3.3.1.6. Pliegues

Los pliegues representan una capa doble del tejido subcutáneo, incluyen una cantidad pequeña y bastante constante de piel y cantidades variables de tejido adiposo. Por tanto, la medición de un pliegue representa los componentes de los cinco niveles de composición corporal (39). En la **Tabla 2.2** y **Tabla 2.3**, se muestran los sitios de medición de acuerdo a cada pliegue cutáneo y perímetros respectivamente.

Tabla 2.2. Sitios para medición de pliegues

Pliegue	Sitio de medición
Grosor del pliegue de bíceps	Levante el pliegue sobre la cara anterior del brazo, justo por arriba del centro de la fosa cubital, al mismo nivel que el pliegue de tríceps y el perímetro de la parte media del brazo. El brazo cuelga relajado a un costado del sujeto y la cresta del pliegue debe quedar paralela al eje longitudinal del brazo.
Grosor del pliegue de tríceps	Tomar la piel y el tejido subcutáneo 1 cm arriba del punto intermedio entre la punta del acromion escapular y el olécranon del cúbito. El pliegue va paralelo al eje longitudinal del brazo. Es preciso asegurar que la medición se realice en la línea media posterior y que el brazo cuelgue relajado y en posición vertical.
Pliegue subescapular	La piel se levanta 1 cm bajo el ángulo inferior de la escápula con el hombro y el brazo del sujeto relajados. El pliegue debe estar paralelo a las líneas naturales de la piel; esto es casi siempre sobre una línea a 45° arriba y hacia la línea media de la horizontal.
Pliegue suprailiaco	Elevar este pliegue 2 cm por arriba de la cresta iliaca en la línea media axilar. La cresta del pliegue debe ser horizontal.
Pliegue del muslo	La piel se levanta sobre la cara posterior del muslo, al mismo nivel que se mide el perímetro del mismo. La cresta del pliegue debe ser paralela a la pierna.
Pliegue de la pantorrilla	El pliegue se toma en la cara posterior de la pantorrilla (pierna), al mismo nivel que se mide el perímetro. La cresta del pliegue debe ser paralela a la pierna.

Fuente: Heymsfield, 1999 (39)

Tabla 2.3 Sitios para medir perímetros

Perímetro	Sitio de medición
Brazo	Este perímetro se mide en el punto intermedio entre el acromion y el olécranon de la escápula y cúbito, respectivamente. El brazo debe colgar relajado al lado del sujeto.
Parte media del muslo	El sujeto se para con los pies un poco separados y con el peso distribuido de manera uniforme en ambos pies. La cinta se coloca alrededor del muslo, horizontal en el punto intermedio entre la prolongación inferior del pliegue glúteo y el pliegue inmediato posterior a la rótula.
Parte media de la pierna	El sujeto se para con los pies un poco separados y con el peso distribuido de manera uniforme en ambos pies, se mide con la cinta horizontal en el perímetro máximo de la pierna (pantorrilla)

Fuente: Heymsfield, 1999 (39)

La limitante de la evaluación del grosor de los pliegues es que una medición aislada es un factor predictivo pobre de la cantidad absoluta y velocidad de cambio en la grasa corporal total. Esto se debe a tres razones: primero, porque existen grandes diferencias interpersonales en la distribución de la grasa; segundo, conforme cambia la grasa corporal total cada pliegue responde de manera diferente, y por último, porque la relación entre el grosor del pliegue y la grasa corporal total es compleja (p. ej., existe una relación exponencial entre el grosor del pliegue subcutáneo y la grasa corporal total, así como entre la grasa subcutánea y la visceral) (39).

Otros factores que limitan la aplicación de un pliegue como medida de adiposidad son los cambios en la composición del tejido adiposo con la edad y el estado nutricional; la variación en la distribución y la compresibilidad del pliegue con el envejecimiento, y la pequeña cantidad de tejido no adiposo (la piel) en la medición. La consideración final es la gran variabilidad día a día en la magnitud del mismo pliegue, incluso cuando se siguen los procedimientos rigurosos mostrados en la **Figura 2.2**. Por lo tanto, el grosor de los pliegues debe considerarse como una medida cualitativa de la cantidad y de la velocidad de cambio en la grasa corporal. Las ventajas son la facilidad y la rapidez de la medición (4).

La combinación del grosor del pliegue de una extremidad con el perímetro correspondiente permite el cálculo de las áreas grasas de la extremidad. La ventaja que se adjudica al cálculo del área es que el resultado incluye la contribución del perímetro de la extremidad; dos extremidades con pliegues iguales pero con perímetros distintos tienen cantidades diferentes de grasa.

1. Los observadores son entrenados por profesionales expertos
2. Utilizar un solo observador y no varios, para el mismo sujeto en todas las visitas
3. Marcar el sitio anatómico de la medición del pliegue y perímetro con tinta indeleble cuando se mida al mismo paciente en un periodo corto
4. Aprender las marcas anatómicas, la forma en que se toma el pliegue, cómo se comprime el sitio del pliegue y cómo se lee en forma correcta la escala del calibrador
5. Valorar periódicamente las diferencias en las mediciones de varios observadores del personal y durante varios días

Figura 2.2 Métodos para optimizar la exactitud. Heymsfield, 1999 (39)

2.3.3.1.7. Desplazamiento de aire por pletismografía.

El volumen corporal es una propiedad física fundamental que puede usarse en el desarrollo de modelos de composición corporal y puede medirse en los seres humanos con dos métodos: la hidrodensitometría (peso bajo el agua) y la pletismografía de desplazamiento de aire (Bod Pod).

Con el método de pletismografía por desplazamiento de aire, el volumen de un objeto es medido indirectamente midiendo el volumen del aire que desplaza dentro de una cámara sellada (pletismógrafo) (56). De esta manera, el volumen del cuerpo humano es medido cuando un sujeto se sienta dentro de la cámara y desplaza un volumen de aire igual a su propio volumen.

El volumen del cuerpo es calculado indirectamente sustrayendo el volumen de aire que queda en la cámara cuando el sujeto se encuentra dentro del volumen de aire de la cámara

cuando está vacía. El aire dentro de la cámara es medida aplicando las leyes físicas del gas propuestas por Boyle-Mariotte, la cual formula que a una temperatura constante, el volumen (V) y la presión (P) son inversamente proporcionales (57) .

$$V/P = k$$

Por tanto, cuando una temperatura constante es mantenida (condiciones isotérmicas), la ley de Boyle puede ser aplicada. Consecuentemente, los primeros pletismógrafos requirieron una temperatura controlada fuera y dentro de las cámaras de prueba (58) .El volumen del aire desplazado puede ser estimado por el cambio en la presión producida por una reducción controlada en el volumen de la cámara.

El instrumento que incorpora este principio ha sido desarrollado con dos cámara idénticas en las cuales es medida el diferencial de presión (59) es conocido por su marca comercial como BOD POD, cuenta con una estructura sencilla que contiene dos cámaras de fibra de vidrio separadas por un dispositivo que produce variaciones en la presión y el volumen del gas con lo que calcula el volumen corporal, una báscula electrónica y una computadora

De acuerdo a Dempster y Aitkens, el BOD POD mejora la oportunidad de realizar mediciones de la composición corporal en forma rápida y simple de manera no invasiva para el uso tanto de la aplicación clínica como de la investigación (56).

El Pletismógrafo es un equipo ampliamente probado en el campo que ofrece buenos resultados (58) y que ha sido evaluado en población con obesidad obteniendo resultados confiables (60).

En la **Tabla 2.4** se presentan las ecuaciones disponibles mediante el software del BOD POD.

Tabla 2.4 Ecuaciones disponibles en el BOD POD

Nombre	Ecuación	Población
Siri	% Grasa ¹ = $(4.95/DC - 4.50) * 100$	Población general
Schutte	% Grasa = $(4.374/DC - 3.928) * 100$	Afroamericanos y hombres negros
Ortiz	% Grasa = $(4.83/DC - 4.37) * 100$	Afroamericanos y mujeres negras
Brozek	% Grasa = $(4.57/DC - 4.142) * 100$	Individuos delgados y obesos
Lohman	% Grasa ² = $(C1/DC - C2) * 100$	Niños menores de 17 años

1. DC: Densidad Corporal

2. C1 y C2 son constantes basadas en la edad y el género

Fuente: Manual del proveedor del equipo BOD POD

2.3.4 Epidemiología de la obesidad

La obesidad es definida como enfermedad caracterizada por el exceso de tejido adiposo en el organismo y en México, de acuerdo a la Norma oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010 (21), se determina la existencia de obesidad en adultos cuando existe un Índice de Masa Corporal (IMC) mayor de 30 kg/m² y en población de talla baja (estatura en mujer adulta menor de 1.50 metros y en hombre adulto menor de 1.60 metros) mayor o igual a 25 kg/m², de igual forma define al sobrepeso, como el estado caracterizado por la existencia de un IMC igual o mayor a 25 kg/m² y menor a 29.9 kg/m² y para las personas adultas de estatura baja, igual o mayor a 23 kg/m² y menor a 25 kg/m².

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha propuesto IMC mayor o igual a 25 y menor o igual a 29.9 como punto de corte para la clasificación de sobrepeso y mayor o igual a 30 para considerar obesidad, sin importar la estatura. La prevalencia de sobrepeso y obesidad varía enormemente de país en país, sin embargo se ha identificado un patrón muy marcado en los países americanos con tasas más altas de sobrepeso en hombres respecto a mujeres y de obesidad en forma inversa (61).

El parámetro más frecuentemente utilizado como criterio diagnóstico de la obesidad es el IMC obtenido de la relación del peso expresado en kg entre el cuadrado de la estatura expresada en metros, es decir, $IMC = \text{peso(kg)} / [\text{estatura(m)}]^2$ (62).

Es importante destacar que el crecimiento acelerado en las tasas de sobrepeso y la obesidad a nivel mundial, ha llegado a tal magnitud que incluso ha reemplazado problemas tradicionales como la desnutrición y enfermedades infecciosas. La OMS sugiere que la clasificación de sobrepeso y obesidad se base en el Índice de Masa Corporal y que sea adoptado internacionalmente (2).

Se calcula que en el mundo hay más de 300 millones de adultos obesos y 750 millones con sobrepeso (63) y de acuerdo a los resultados obtenidos en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006, (64) en México el 40.0% (distribuidos en 53.2% hombres y 46.8% mujeres) de adultos mayores de 20 años tiene sobrepeso y el 29.35% (distribuidos en 41.2% hombres y 58.8% mujeres) tiene obesidad como se muestra en la **Figura 2.3**, esto significa que aproximadamente el 70% de la población mexicana mayor de 20 años para el 2006 se encontraba en situación de sobrepeso u obesidad.

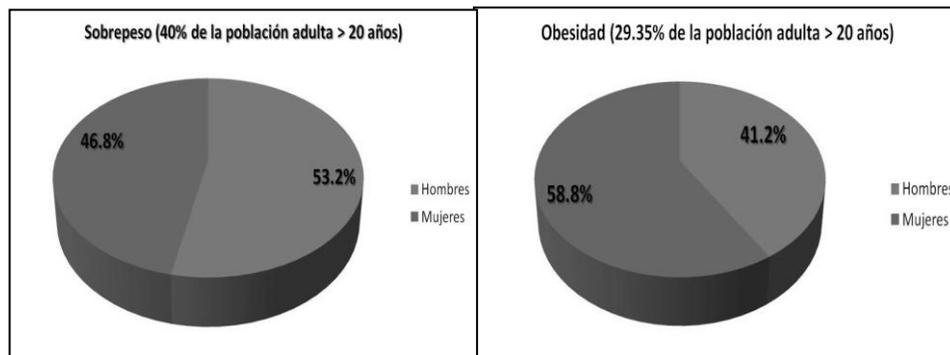


Figura 2.3 Distribución por género de sobrepeso y obesidad en adultos mexicanos mayores de 20 años

En la **Tabla 2.5** se observan los resultados arrojados de las últimas encuestas nacionales y se aprecian los cambios en la prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos. Los datos fueron extraídos de las siguientes fuentes: 1988: Encuesta Nacional de Nutrición 1988, 1993: Encuesta Nacional de Enfermedades Crónicas 1993, 1999: Encuesta Nacional de Nutrición 1999, 2000: Encuesta Nacional de Salud 2000 y 2006: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006.

El punto de corte para clasificar a la obesidad es de IMC igual o mayor a 30 en todas las encuestas, excepto en la Encuesta Nacional de Enfermedades Crónicas 1993, en la que se toma IMC 27.8 para hombres y 27.3 para mujeres. Esto explica los datos más altos en este año, respecto a los posteriores, sin embargo en términos generales se observa un incremento importante que se acentúa en los últimos periodos.

Tabla 2.5 Prevalencia de sobrepeso y obesidad en adultos de acuerdo a encuestas nacionales en México.

	1988	1993	1999	2000	2006
	%	%	%	%	%
Mujeres					
Sobrepeso	24		30.6		37.4
Obesidad	9.4	41.4	21.2	28.9	34.5
Suma de sobrepeso y obesidad	33.4		59.6		71.9
Hombres					
Sobrepeso				40.3	42.5
Obesidad		28.5		19.4	24.2
Suma de sobrepeso y obesidad				59.7	66.7

Los datos no disponibles se representan con espacios en blanco.

Fuente: Casanueva (63)

El patrón antes mencionado de mayor prevalencia de obesidad en mujeres respecto a varones se conserva en población mexicana, además se observó que la prevalencia de obesidad es mayor a medida que aumenta la edad (65).

En la **Tabla 2.6**, se presenta la clasificación de sobrepeso y obesidad así como el riesgo de comorbilidades, en la cual se aprecia un riesgo aumentado a partir de IMC mayor a 25.

El mejoramiento de las condiciones de vida de la población, la disminución de la mortalidad general y la transformación del perfil de causas de muerte son elementos que se han observado en las últimas décadas en nuestro país y han tenido profundas consecuencias sociales. De manera simplificada, el proceso de cambio paulatino en el perfil de causas de

defunción, en el cual progresivamente disminuyen las afecciones infecciosas y parasitarias a favor de las crónicas y degenerativas, se ha denominado transición epidemiológica. Los estratos de población con mayor nivel de bienestar se encuentran en una fase avanzada de la transición, mientras que los grupos más rezagados continúan en una etapa temprana de este proceso (1). En este sentido la obesidad se considera una enfermedad crónica de múltiple etiología.

Tabla 2.6 Clasificación de sobrepeso y obesidad por IMC según la Organización Mundial de la Salud

IMC	Clasificación	Riesgo de comorbilidad
< 18.5		Bajo
18.5 – 24.9		Promedio
≥ 25	Sobrepeso	
25.0 – 29.9	Preobeso	Aumentado
30.0 – 34.9	Obesidad grado I	Moderado
35.0 – 39.9	Obesidad grado II	Importante
≥ 40	Obesidad grado III	Muy importante

Fuente: Organización Mundial de la Salud (75)

Se ha visto que el incremento de masa corporal puede reducir la longevidad, a pesar de que la esperanza de vida es cada vez mayor (de 33.0 y 34.7 años en 1930 a 72.9 y 77.6 en 2009 para hombres y mujeres respectivamente (66)), debido principalmente a las medidas de salud públicas, a los cuidados médicos y a una reducción de los problemas de desnutrición, la esperanza de vida de las personas en situación de obesidad es menor, ya que el incremento en el tamaño corporal ha promovido enfermedades crónicas (24) .

La relación entre el IMC, la mortalidad y morbilidad en adultos responde a una curva en forma de U o de J, donde la mortalidad es mayor en ambos extremos de los valores del IMC y alcanza un índice menor en cierto valor que ha variado con el tiempo (67). En la gráfica de la **Figura 2.4**, se observa que la mortalidad se incrementa paulatinamente a partir del corte IMC mayor a 25, acelerándose aún más a partir de 30, para ambos géneros (68).

La obesidad se ha relacionado con comorbilidades tales como hipertensión e infartos (31), ciertos tipos de cáncer (30, 69), diabetes tipo 2 (25), diabetes gestacional (28), síndrome metabólico (27), dislipidemias (70), depresión (71), infertilidad (26), trastorno de la conducta alimentaria por atracón (72) y enfermedades pulmonares incluyendo apnea del sueño (29).

Adicionalmente las personas en situación de obesidad sufren de los prejuicios y discriminación social, en ocasiones no solo de la población en general, sino de los profesionales de la salud, y esto puede ser que produzca un rechazo a buscar apoyo médico (32).

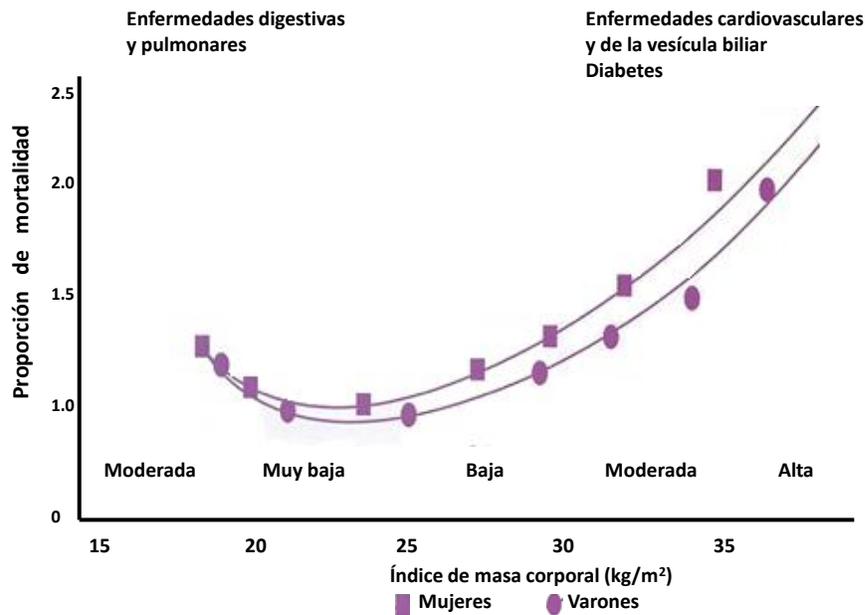


Figura 2.4 Cifras de mortalidad en hombres y mujeres adultos según índice de masa corporal

Fuente: Casanueva (63)

Estudios realizados en Asia muestran un incremento en la tendencia de acumular exceso de grasa abdominal a pesar de tener IMC bajos (73), de aquí que algunos investigadores han cuestionado la aplicabilidad de los límites del IMC para todas las etnias, sugiriendo que los

límites para definir el sobrepeso y la obesidad deberían basarse en los factores de riesgo de enfermedades cerebro vasculares (74).

2.4 Herramientas matemáticas

Es común utilizar métodos estadísticos para desarrollar ecuaciones de predicción para la composición corporal. Dicha predicción requiere de ecuaciones de regresión que utilicen variables de factor pronóstico como la antropometría, la bioimpedancia o marcadores directos de elementos corporales.

2.4.1 Fuentes de error

La exactitud de la ecuación de pronóstico derivada de un estudio, depende en gran medida de la ausencia de error y la capacidad de predecir el valor verdadero de la población blanco.

Una ecuación puede considerarse válida si no presenta sesgos o errores sistemáticos, es indispensable contar con validez interna que se refiere principalmente a la ausencia de sesgos cometidos durante la selección de la población de estudio, las mediciones realizadas en ella o el momento de asegurar la comparabilidad de los grupos estudiados (75).

Las mediciones de las variables de factor pronóstico que se usan en una ecuación deben ser tan precisas como sea posible. Esto se logra si se pone atención a la selección y calibración de los instrumentos, procedimientos de medición y control de calidad.

Al igual que todas las mediciones, las mediciones antropométricas incluyen un error. Dichos errores pueden ser sistemáticos (no aleatorios), aleatorios o de ambos tipos.

Las dimensiones antropométricas de un sujeto pueden evaluarse en un punto del tiempo o en repetidas ocasiones. El error de medición constituye la principal preocupación en relación con una sola evaluación. Cuando se realizan mediciones repetidas, debe considerarse el error de medición combinado con la variación biológica normal.

El error de medición puede originarse por defectos en el instrumento o del observador. El error del observador se relaciona con tres factores: precisión, confiabilidad y exactitud.

La exactitud es el nivel de concordancia entre el valor medido y la dimensión “real”. La exactitud de una dimensión antropométrica casi siempre se establece mediante la comparación con un método de referencia. Por ejemplo, el grosor del tejido adiposo subcutáneo estimado con un calibrador de pliegues puede compararse con las estimaciones correspondientes por tomografía axial computarizada o imagen por resonancia magnética. Por supuesto que un análisis así también incluye errores en el instrumento y en el observador. En circunstancias clínicas, las mediciones de un antropometrista casi siempre se comparan con las de un “experto”.

La precisión, diferente de la exactitud define la calidad de una medición en términos de estar bien definida. En este sentido, la precisión se refiere a la escala de medición; por ejemplo, un pliegue cutáneo que se mide al milímetro más cercano es más preciso que una medición al 0.5 cm más próximo. Una medición muy precisa (p. ej., el peso corporal con aproximación a gramos) no siempre es exacta, si la báscula que se utiliza está mal calibrada. La definición de precisión se sobrepone en cierta medida con la de confiabilidad.

La confiabilidad es el grado en el cual el mismo observador o uno distinto pueden replicar una medida con el mismo instrumento. Esto se relaciona con la precisión pues resulta difícil que una medición sea precisa y exacta si no es confiable.

La precisión de una medición antropométrica puede cuantificarse como la variabilidad entre mediciones repetidas en el mismo sujeto con un periodo corto (39). La precisión puede expresarse como el error técnico de medición, el cual es la desviación estándar de las mediciones repetidas en el mismo sujeto por el mismo o diferentes observadores. El error técnico de medición, que se expresa en las mismas unidades que la cantidad valorada, también puede expresarse como porcentaje, un coeficiente de variación ($DE/\text{promedio} \times 100$) (76).

La confiabilidad se conoce como “reproducibilidad” o “repetibilidad”. La confiabilidad, diferente de la precisión se expresa más a menudo en términos de relación entre las mediciones repetidas dentro de la misma clase, a veces denominado “coeficiente de confiabilidad”. Las mediciones de confiabilidad a menudo incluyen tanto el error de medición como la variación fisiológica.

La variación total en una medición antropométrica vigilada en un periodo determinado incluye la variación de la medición y la variación biológica. La variación biológica ocurre incluso en el individuo sano, ya que el peso y el equilibrio hídrico son fluctuantes. Este aspecto de la variabilidad de la medición establece la diferencia entre la variación total del parámetro antropométrico con el tiempo y la debida a un error de medición. Algunas mediciones, como la talla, son muy estables en los adultos; otras, como el grosor de algunos pliegues, mantienen una variabilidad moderada. En la práctica, este componente biológico de variabilidad a menudo se incluye en las estimaciones de confiabilidad de los parámetros antropométricos.

Con frecuencia, las dimensiones antropométricas se usan en forma directa, por ejemplo el grosor del pliegue del tríceps como medida de adiposidad. La transformación matemática de un parámetro antropométrico en un componente estimado lleva fuente de error. La “validez” de un método antropométrico en este contexto se refiere al grado en el cual mide o predice con exactitud un componente específico. Los métodos descriptivos o de tipo I son específicos para poblaciones y el error surge cuando se aplica una fórmula a un nuevo grupo de sujetos o a alguno fuera del rango original de sujetos en cuanto a edad, peso y estatura. Los métodos mecánicos incluyen un error de “modelo”. Por ejemplo, el cálculo del área muscular del brazo a partir del pliegue del tríceps y el perímetro del brazo se basa en un simple modelo geométrico como se aprecia en la **Figura 2.5**. Es posible que el área muscular real se desvíe del modelo asumido, lo cual introduce un error en la estimación del componente. Ambos tipos de error son no aleatorios o sistemáticos (4).

La antropometría se aplica en gran medida para la evaluación de un solo sujeto o de poblaciones completas.

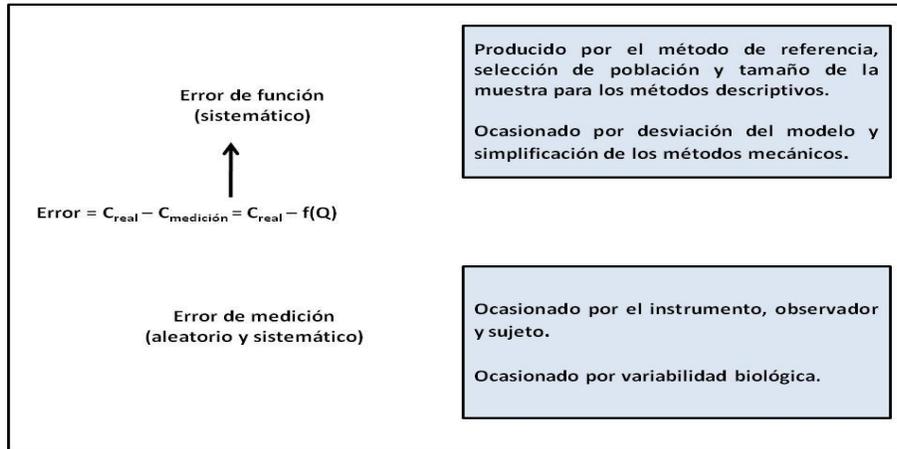


Figura 2.5 Fuentes de error en los métodos antropométricos Heymsfield, 1999 (39)

2.4.2 Ecuaciones estimativas de la composición corporal

Existen numerosas ecuaciones predictivas disponibles para calcular la grasa corporal total a partir del grosor de los pliegues, perímetros, peso corporal y estatura.

Todos los modelos descriptivos incluida la antropometría, comparten los elementos siguientes: desarrollo de un grupo de sujetos bien definido, uso de un método para estimar la grasa corporal total y un modelo de predicción formulado mediante análisis de regresión.

Por cuestiones de rapidez y conveniencia, algunos métodos solo se basan en el sexo, peso corporal, estatura y perímetros. Ya que todas las fórmulas de predicción son específicas para una población, deben someterse a una validación cruzada en nuevos grupos antes de aplicarlas. Lo ideal es que la fórmula para estimar la grasa se utilice en un grupo similar a la población en la que se desarrolló.

La fórmula para predicción de grasa corporal total que se aplica con mayor frecuencia, es la que desarrollaron Durnin y Womersley (**Tabla 2.7**) con el peso bajo el agua como criterio para estimar la grasa (48), la muestra incluyó 209 varones y 272 mujeres caucásicos, menores de 68 años y con peso normal o ligero sobrepeso. Una vez que se conoce el total de grasa corporal, puede restarse del peso para obtener un valor de la masa libre de grasa.

Los resultados de las ecuaciones de predicción son más precisos para las poblaciones a partir de las que se derivó la ecuación.

Tabla 2.7 Método de Durnin y Womersley para el cálculo de grasa y masa corporal libre de grasa.

1. Medir la estatura y peso (kg) del sujeto	
2. Medir los siguientes pliegues en milímetros: bíceps, tríceps, subescapular y suprailiaco	
3. Calcular la sumatoria (Σ) de los cuatro pliegues	
4. Calcular el logaritmo de la sumatoria ($\log \Sigma$)	
5. Aplicar una de las siguientes ecuaciones ajustadas según edad y género para calcular la densidad corporal (D, g/ml)	
Varones	
Rango de edad	
17-19	$D=1.1620 - 0.0630 \times (\log \Sigma)$
20-29	$D=1.1631 - 0.0632 \times (\log \Sigma)$
30-39	$D=1.1422 - 0.0544 \times (\log \Sigma)$
40-49	$D=1.1620 - 0.0700 \times (\log \Sigma)$
>50	$D=1.1715 - 0.0779 \times (\log \Sigma)$
Mujeres	
Rango de edad	
17-19	$D=1.1549 - 0.0678 \times (\log \Sigma)$
20-29	$D=1.1599 - 0.0717 \times (\log \Sigma)$
30-39	$D=1.1423 - 0.0632 \times (\log \Sigma)$
40-49	$D=1.1333 - 0.0612 \times (\log \Sigma)$
>50	$D=1.1339 - 0.0645 \times (\log \Sigma)$
6. Calcular la masa grasa	
	$MG \text{ (kg)} = \text{peso corporal (kg)} \times \left[\frac{4.95}{D} - 4.5 \right]$
7. La masa corporal libre de grasa se calcula como	
	$MLG \text{ (kg)} = \text{peso corporal (kg)} - \text{masa grasa (kg)}$

Fuente: Adaptado de los datos de Durnin JVGA, Womersley J y reimpresso a partir de Wright RA, Heymsfield SB (eds.) *Nutritional assessment*. Boston: Blackwell Scientific, 1984.

Debido a que la masa grasa puede ser estimada a partir de la masa corporal total y la masa libre de grasa, se encuentra relevante revisar algunos métodos de estimación de la masa muscular, tales como la medición de pliegues cutáneos.

En general los tejidos magros se refieren a la siguiente secuencia de componentes en los cinco niveles de composición corporal: nitrógeno, potasio y calcio en el atómico; MLG, agua y proteína en el molecular; masa celular corporal en el celular; músculo esquelético, esqueleto y vísceras en el tisular y sistémico, y mediciones antropométricas en el corporal total (p.ej., pliegues y perímetros) (39).

El cálculo de la cantidad de tejido muscular en las extremidades a partir de datos antropométricos sólo requiere dos mediciones: el perímetro de la extremidad y el grosor del pliegue cutáneo correspondiente. Casi siempre se valora la porción media del brazo y se reúne un poco más de información mediante la medición de las áreas musculares del muslo y de la pierna.

La aplicación principal de las mediciones musculares de las extremidades consiste en obtener una medida de la magnitud y velocidad de cambio en la proteína del músculo esquelético. Por lo tanto deben considerarse los siguientes factores (77):

La masa del músculo esquelético representa una medición tridimensional (volumen), mientras que el área muscular de la extremidad y el perímetro son índices bidimensionales y unidimensionales, respectivamente. Conforme cambia el volumen muscular, se producen cambios proporcionales correspondientes más pequeños en el área y en el perímetro. Por ejemplo, un descenso del 50% en el volumen muscular corresponde a un descenso del 37% en el área muscular y del 21% en el perímetro. Como regla, el cambio relativo en el área muscular es mayor que el cambio en el perímetro.

Las ecuaciones que se utilizan para calcular los índices musculares de la extremidad se basan en simples suposiciones teóricas acerca de la geometría del brazo. En realidad, el área muscular del brazo sobreestima la cantidad de músculo en 15 a 25% en sujetos jóvenes y sin obesidad. La mitad de esta exageración se debe a la inclusión del hueso en el área

calculada, el resto se explica por errores en las suposiciones y por la inclusión de tejido no muscular (p.ej., paquete neuromuscular) en el resultado.

Existen dos métodos para corregir este exceso. El primero consiste en expresar los resultados en forma de porcentaje del estándar, ya que el valor estándar también contiene estos componentes “no musculares”. El segundo método consiste en calcular un valor para el área muscular del brazo libre de hueso, como se describe en el cuadro 3. Los estudios de Forbes y colaboradores (78), y de Baumgartner y sus colaboradores (79), sugieren que las estimaciones del área muscular del brazo también son inexactas en personas obesas y ancianos. Rolland-Cachera y sus colaboradores (80), propusieron hace poco tiempo un nuevo abordaje antropométrico para calcular el área muscular del brazo. En este modelo, se asume que el borde de grasa desenrollado es un rectángulo con longitud igual al perímetro del brazo (P) y anchura igual al grosor del pliegue del tríceps entre dos. Entonces, el área de grasa en el brazo es igual a $C \times (\text{pliegue del tríceps}/2)$, y el resto de tejido, principalmente músculo, se obtiene al restar el área de grasa al área total del brazo.

El músculo esquelético atrófico tiene una composición química diferente a la del tejido normal. Las cantidades de agua, lípidos totales y colágeno por gramo de músculo son mayores, mientras que la cantidad de proteínas funcionales por unidad de área muscular o perímetro del brazo son más bajas en el músculo atrófico. Otra consideración química es que el tamaño del músculo puede cambiar en forma súbita en ± 5 a 10% como respuesta ante las rápidas modificaciones en el glucógeno muscular debidas a las propiedades de proteína activa del peso corporal (39).

Las ecuaciones matemáticas o modelos son una forma doblemente indirecta de lograr una estimación del porcentaje de grasa, por su facilidad de uso y bajo costo representan una buena opción para esta estimación, por este motivo ha habido varias propuestas al respecto, enfocado a diferentes grupos étnicos de diferentes grupos de edad, ya que una de las desventajas de las fórmulas de estimación es que su validez sólo abarca a la población para la cual fue desarrollada.

A partir de la estimación de la densidad corporal puede calcularse el porcentaje de grasa presente en el organismo mediante diferentes ecuaciones desarrolladas a partir de cadáveres. Entre las más utilizadas se tienen las que desarrollaron Ratburn y Pace en 1945, las de Siri en 1956 y las de Brozek en 1963 (81). Se han realizado estudios de validez para una población en específico (singapurenses y chinos de Bejin) con ecuaciones desarrolladas para otra población (caucásica) observándose que la mayoría de ellas presentan sesgos atribuibles probablemente al factor étnico (82).

Se han desarrollado ecuaciones específicamente para niños (5-14 años) en Nueva Zelanda, Europa, Maorí e Isla del Pacífico, obteniéndose ecuaciones robustas más adecuadas que el IMC (83). En México se han desarrollado ecuaciones para población mexicana de niños (84), adultos (13) y para adultos mayores de 60 años, obteniéndose que algunas ecuaciones estimativas pueden ser aplicadas en población adulta con buenos resultados estimativos (16).

También se han diseñado ecuaciones que incorporan la diversidad étnica (14, 85) representando una mejor alternativa en varios casos, aunque solo están desarrolladas para adultos mayores.

Estudios realizados con una mayor cantidad de sujetos (521 hombres y 708 mujeres) que abarcan edades desde 7 a 83 años, con IMC de 13.9 hasta 40.9, solamente utilizando antropometría y densitometría para la composición corporal, han arrojado fórmulas diferenciadas por la edad con cierto poder estimativo. Sin embargo para personas con obesidad las ecuaciones sobreestiman ligeramente el porcentaje de grasa (86) Ver Anexo B.

2.4.3 Índice de Masa Corporal (IMC)

El Índice de Masa Corporal, gana cada vez más aceptación para el diagnóstico de desnutrición calórico-protéica y obesidad (39). El IMC cubre la mayoría de las premisas de los índices de peso/talla, aunque es necesario señalar varias limitaciones. Primero, aunque la relación entre IMC y la grasa corporal es relativamente fuerte ($r=0.5-0.8$), la variación

individual es amplia y algunos sujetos pueden clasificarse de manera equivocada como desnutridos u obesos (39). Smalley y sus colaboradores, publicaron un ejemplo de un hombre con IMC igual a 27 con porcentaje de masa corporal total de grasa de 10 a 31% del peso corporal (87). Es factible que el IMC tenga una pequeña dependencia de la estatura, ya que las personas con piernas cortas para su estatura tienen valores más altos de IMC, independientes de la grasa (88-89).

Gallagher y sus colaboradores utilizaron un modelo de cuatro componentes como criterio para estimar la grasa corporal encontraron que el IMC como medida de adiposidad en un estudio de cohorte sano dependía de la edad y género, pero no del grupo étnico en sus adultos de raza blanca o negra (90).

Existe una relación curvilínea entre la grasa corporal total, expresada como porcentaje del peso y el IMC (39) tal como se muestra en la **Figura 2.6**.

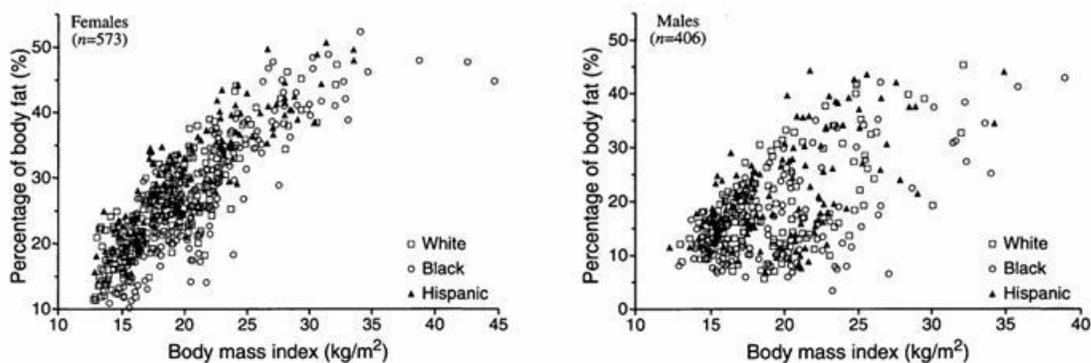


Figura 2.6 Relación entre el porcentaje de grasa y el Índice de masa corporal para mujeres y hombres entre 3 y 18 años de 1994 a 1998.

Fuente: Ellis K.(91)

Se hicieron otros intentos de modelos estimativos a partir de nuevas variables como peso ajustado por la estatura y el diámetro corporal, con la finalidad de reemplazar el IMC propuesto por Quetelet, sin embargo no demostraron mejora significativa por lo que no tuvieron gran aceptación (92).

El avance tecnológico permite la incorporación de nuevos instrumentos que son útiles para la determinación de masa grasa, entre ellos tenemos los rayos X (93), ultrasonido (94), método de impedancia a través de dos electrodos (95) y pletismografía por desplazamiento de aire, con el BOD POD (96).

Actualmente, como alternativa para determinar la grasa corporal se cuenta con métodos indirectos no invasivos de dos clases: los de laboratorio y los clínicos. Entre los métodos de laboratorio se cuenta con tomografía computarizada, resonancia magnética y actividad de neutrones, siendo estos tres métodos de costo muy alto y difícil uso. También se tiene el método de densitometría, recuento de 40K, conductividad (Tobec) y ultrasonido, con costos altos y dificultad de uso entre alta y moderada. Métodos como Agua corporal total y gas soluble en agua presentan un costo moderado aunque su dificultad de empleo sigue siendo alta (63).

En cuanto al método de impedancia bioeléctrica, es importante mencionar que aún cuando existen en el mercado gran disponibilidad de estos equipos y cada vez su costo es más asequible, pierden exactitud en la evaluación de personas extremadamente obesas, además de que no han resultado útiles en la evaluación de los cambios en el contenido de grasa total durante la pérdida de peso. Por ello esta técnica no ofrece ventajas importantes en relación con el IMC en el manejo clínico de pacientes (97).

Es evidente que los métodos de laboratorio no son accesibles para la práctica común, tanto por su complejidad de uso como por su costo. Sin embargo, estos métodos son tomados como “estándar de oro” para validar la precisión de los otros.

El método de dilución con Deuterio (D₂O), la pletismografía por desplazamiento de aire (con el BOD POD) y la absorción dual de rayos X (DXA) son técnicas mediante las cuales es posible medir componentes específicos como la masa mineral ósea, el agua corporal y la densidad del cuerpo. La combinación de estas tres técnicas y sus mediciones específicas permite desarrollar lo que se conoce como un modelo de cuatro compartimentos en composición corporal (4C: 1, masa ósea; 2, agua corporal total; 3, masa grasa y 4 un componente residual anhidro, conformado fundamentalmente de proteína, y glucógeno en menor grado). Por separado, cada técnica permite obtener estimaciones confiables de la masa grasa (MG) y de la masa libre de grasa (MLG), en lo que se conoce como un modelo de dos compartimentos (2C).

Los modelos de 2C y 4C han sido considerados como métodos de referencia, es decir, modelos contra los cuales se comparan o validan otras técnicas (doblemente indirectas), más sencillas, prácticas y menos costosas, tales como la antropometría o en su caso algunos equipos de impedancia bioeléctrica. Entre estas técnicas doblemente indirectas se encuentran los algoritmos o ecuaciones de estimación de los componentes de la MG o MLG (98).

Alemán-Mateo ha validado la PDA mediante el uso del BOD POD como método para evaluar la composición corporal bicompartamental en adultos mayores mexicanos comparándolo con el modelo de 4C, lo que permite utilizarlo como método de referencia (96).

Los pacientes con obesidad moderada ($30 \leq \text{IMC} < 40$) o severa ($\text{IMC} \geq 40$), frecuentemente se encuentran en desventaja, ya que no pueden ser evaluados por los sistemas de medición de composición corporal convencionales, sin embargo como una buena alternativa se cuenta con el sistema de desplazamiento de aire por pletismografía (BOD POD), el cual puede medir con gran precisión la densidad corporal (99).

2.4.4 Área de Superficie Corporal

El área de superficie corporal (ASC) es la medida o cálculo de la superficie del cuerpo humano y desde 1916 cuando Du Bois y Du Bois publicaron la primera ecuación para estimarla como sigue:

$$0.007184 \times \text{peso (kg)}^{0.0425} \times \text{altura (cm)}^{0.725}$$

ha habido otras aproximaciones para esta medida, como la propuesta en 1987 por Mosteller (100).

$$\sqrt{\frac{\text{peso} \times \text{altura}}{3600}}$$

El cálculo de la ASC es más simple que muchas medidas de volumen y otros investigadores como Reading y Freeman han continuado buscando nuevas aproximaciones a ésta (101) encontrando fórmulas en el 2005 como la siguiente:

$$ASC(m^2) = \frac{\sqrt{\text{peso (kg)} \times \text{estatura (m)}}}{6}$$

3. Justificación

La obesidad *per se* es una patología y está asociada con enfermedades crónicas tales como diabetes tipo 2, hipertensión, diferentes tipos de cáncer y dislipidemias, y dado el incremento de su prevalencia, está situada entre los principales problemas de salud pública a nivel nacional. Por su parte el sobrepeso es la antesala de la obesidad y por tanto, es en extremo conveniente tomar medidas preventivas que eviten estar en esta situación.

El personal de salud encargado de diagnosticar sobrepeso y obesidad, frecuentemente no cuenta con herramientas sensibles para estimar la cantidad de grasa corporal, por lo que realizar una evaluación de la composición corporal es de gran importancia en el diagnóstico individual con fines terapéuticos.

La disponibilidad de métodos económicos, sencillos de utilizar, confiables y válidos para analizar la composición corporal bicompartamentalmente, es decir, masa grasa y masa libre de grasa, representaría un gran apoyo para el personal de salud encargado de evaluar este aspecto en la práctica clínica, contribuyendo de ésta manera a mejorar el diagnóstico y a partir de éste sensibilizar y mejorar la adherencia al tratamiento en los pacientes.

Adicionalmente estos métodos podrían representar un apoyo a otros profesionistas de la salud que realicen trabajo de investigación, al hacer más rápida, económica, sencilla y poco invasiva la estimación de grasa corporal.

La salud es un bien único que debe preservarse, el adulto enfermo es menos productivo y con ello contribuye de manera paulatina al detrimento de la economía familiar, tanto por el ausentismo laboral y eventualmente el desempleo, como por el incremento en el gasto familiar derivado de su tratamiento.

Debido a que las ecuaciones predictivas son válidas para la población a partir de la cual fueron elaboradas las fórmulas, es necesario desarrollar y validar ecuaciones para población mexicana del centro del país en situación de sobrepeso u obesidad, ya que hasta el momento no se cuenta con ninguna hasta donde la autora tiene conocimiento.

4. Hipótesis

La cantidad de masa libre de grasa corporal en adultos mexicanos en situación de sobrepeso u obesidad puede ser estimada a partir de variables predictoras antropométricas de simple obtención.

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Desarrollar y validar mediante un modelo bicompartamental, una ecuación estimativa de la masa libre de grasa basada en la densidad corporal, utilizando predictores antropométricos.

5.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar la utilidad de diferentes medidas antropométricas como predictores para el diagnóstico de sobrepeso y obesidad en adultos.
2. Revisar y comparar ecuaciones que estimen la masa grasa, analizando predictores similares en las poblaciones para las cuales fueron desarrolladas.
3. Validar la ecuación desarrollada aplicándola en la misma población a partir de la cual se obtuvo y determinar su grado de exactitud, precisión y posible sesgo.
4. Determinar la relación entre el tamaño y masa corporal dado por el Índice de Masa Corporal y la grasa corporal en un grupo de adultos Mexicanos entre 20 y 50 años del centro de México con sobrepeso y obesidad

6. Sujetos y métodos

6.1 Sujetos

6.1.1 Forma de reclutamiento

A través de invitación verbal y escrita a estudiantes, empleados y catedráticos del Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) de sus familiares y conocidos.

6.1.2 Criterios de Inclusión

Los criterios de inclusión son:

- Edad entre 20 y 50 años
- IMC mayor o igual a 25
- Circunferencia de cintura mayor o igual a 80 en el caso de las mujeres y mayor o igual a 92 en el caso de los hombres
- Ser mexicano originario del Estado de Hidalgo o estados circunvecinos con tiempo de residencia mayor o igual a 10 años en el Estado de Hidalgo

6.1.3 Criterios de Exclusión

Los criterios de exclusión consideran

- Patologías autoreconocidas por el sujeto. Se considerarán sólo aquellas enfermedades que alteren el volumen corporal (signo de edema o deshidratación), así como claustrofobia. Esta se evaluará a través de pregunta directa elaborada al momento de la invitación y se cuestionará nuevamente antes de iniciar el estudio, quedando sus respuestas por escrito como parte del instrumento de recolección de datos (Anexo C).

- Sujetos con edema o deshidratación aparente valorada por el investigador a través de observación física el día del estudio.
- Administración de diuréticos o medicamento que interfiera con la composición corporal, referidos por el sujeto cuando se le cuestione.
- Sujetos con barba.
- En caso de las mujeres no deben estar menstruando ni embarazadas o en periodo de lactación, en caso de haber tenido hijos que el último haya nacido hace más de un año. Este requisito se evaluará a través de pregunta directa elaborada al momento de la invitación y se cuestionará nuevamente antes de iniciar el estudio, formando parte del instrumento de recolección de datos. En caso de duda respecto al embarazo, se practicará una prueba de embarazo con muestra de orina.

6.1.4 Criterios de Eliminación

- Que el sujeto no desee continuar en algún momento antes de finalizar el estudio.
- Que el sujeto manifieste su deseo de no ser considerado al finalizar el estudio.
- Que exista la duda de un mal registro en la forma de recolección de datos.
- Que se haya omitido alguna medición.

6.2 Métodos

6.2.1 Diseño de Estudio

Es un estudio transversal, observacional de concordancia, ya que éste permite evaluar si diferentes técnicas producen resultados similares cuando se aplican al mismo sujeto en forma simultánea bajo condiciones similares.

En este caso se compara el porcentaje de masa libre de grasa obtenida mediante el modelo matemático propuesto contra el resultado obtenido por el pletismógrafo por desplazamiento de aire, considerado como el estándar.

6.2.2 Tamaño y composición de la muestra

La muestra es no probabilística por conveniencia, constituida por 119 sujetos voluntarios reclutados en la Ciudad de Pachuca, Hidalgo. Los sujetos están pareados por sexo (61 mujeres y 58 hombres) y estratificados por grupo etario (45 sujetos de 20 a 29 años, 38 sujetos de 30 a 39 años y 36 sujetos de 40 a 50 años). La muestra considera un 5% de pérdidas por no respuesta o datos no útiles (incompletos, erróneos) ya que un sólo observador entrenado toma las mediciones y esto disminuye el impacto de datos no útiles o no respuesta. El detalle para la determinación del tamaño de muestra se encuentra en el Anexo D.

6.2.3 Período del estudio

El estudio se llevó a cabo entre los meses de julio del 2011 a marzo del 2012.

6.2.4 Lugar del estudio

El estudio se realizó íntegramente en el laboratorio de plicometría del Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo(UAEH) , ubicado en Exhacienda la Concepción S/N San Agustín Tlaxiaca C.P. 42160 Tel. 01 771 71 720 00 ext. 5114.

6.2.5 Requisitos previos al estudio

Acudir en un horario entre 7:00 y 11:00 horas sin haber realizado ejercicio extenuante previo al estudio, con más de 1 hora de haberse duchado, en condición de ayuno de 8 horas y con la vejiga e intestinos evacuados preferentemente.

6.2.6 Proceso del estudio

Con la finalidad de evitar sesgos en el estudio, se realizaron los pasos del estudio de manera secuencial y sistemática, como se indica en la **Figura 6.1**, y cuyo detalle se encuentra en el Anexo E.

Flujo del proceso del estudio

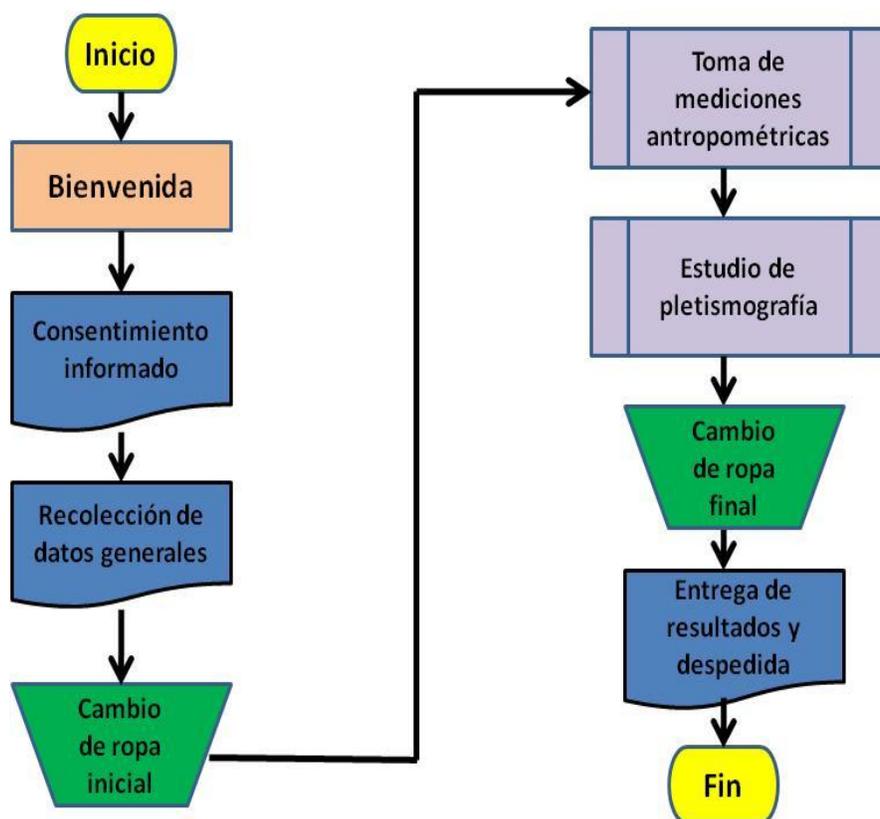


Figura 6.1 Flujo del proceso para realizar el estudio.

6.2.7 Análisis de datos

Los datos fueron analizados utilizando el paquete de análisis estadístico SPSS versión 15.0, siguiendo los pasos que se muestran en la **Figura 6.2** los cuales se describen de manera detallada en el Anexo F.

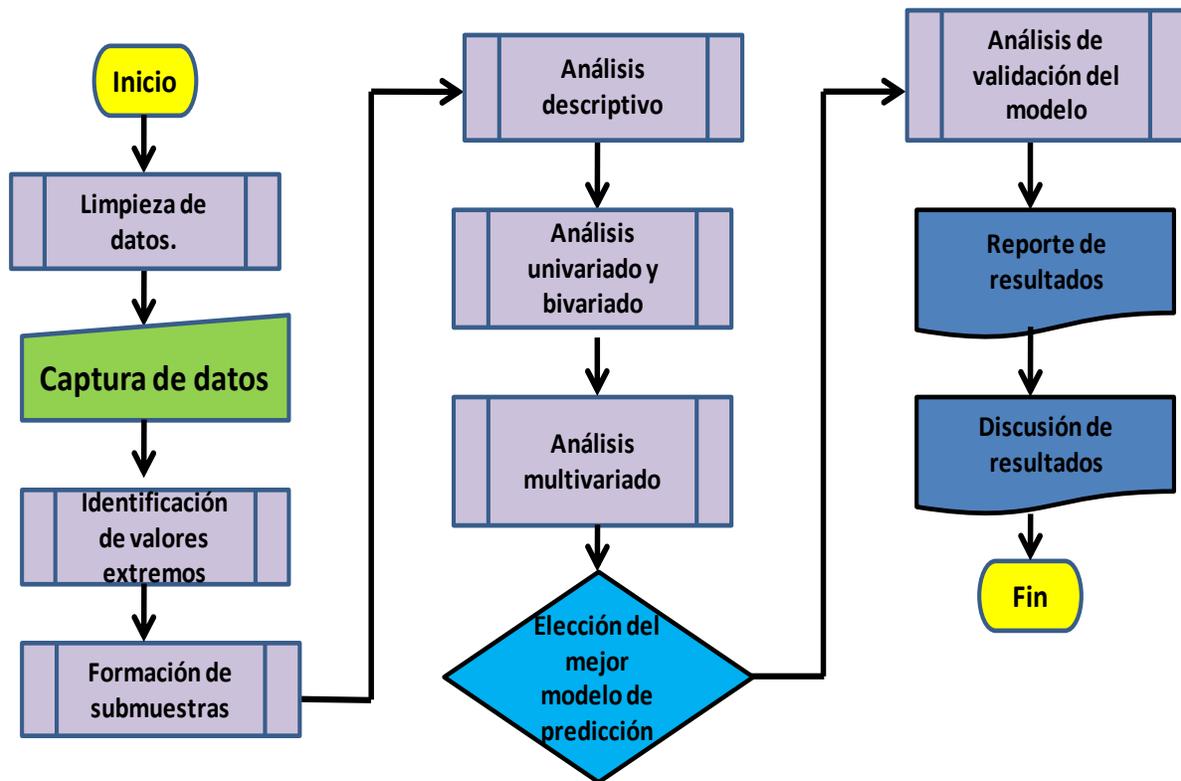


Figura 6. 2 Pasos del método de análisis de datos

Definición y operacionalización de las variables

Se consideraron en el estudio diecinueve variables, descritas en el Anexo G “Definición y Operacionalización de las Variables”, de las cuales dos son dependientes (masa grasa y masa libre de grasa, ya que ambas se pueden obtener a partir de la otra) y diecisiete independientes, siendo cuatro de éstas (índice de masa corporal, índice de conicidad, complejión y superficie de área corporal) calculadas a partir de algunas de las otras.

- Variable dependiente:
 1. Masa libre de grasa

- Variables independientes:
 1. Sexo
 2. Edad
 3. Estatura
 4. Estatura sentado
 5. Circunferencia de muñeca
 6. Circunferencia de abdomen
 7. Diámetro sagital abdominal en posición vertical
 8. Circunferencia de pantorrilla
 9. Diámetro sagital abdominal en posición horizontal
 10. Longitud de la línea ilioaxilar al onfalio a la altura de éste
 11. Pliegue tricipital
 12. Pliegue subescapular
 13. Masa corporal total
 14. Índice de masa corporal
 15. Índice de conicidad
 16. Complejión
 17. Superficie de área corporal.

7. Aspectos éticos

7.1 Aspectos éticos

El protocolo se desarrolló anteponiendo siempre el bienestar del sujeto de estudio por encima del interés personal o profesional del investigador, prevaleciendo siempre el criterio de respecto a su dignidad y la protección de sus derechos.

La clasificación del riesgo del estudio es mínimo de acuerdo al inciso II del artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud. Los datos fueron obtenidos a través de procedimientos comunes en exámenes físicos o tratamientos rutinarios, tales como tomar mediciones de estatura, circunferencias, masa corporal (peso) y composición corporal bicompartamental por el método de pletismografía por desplazamiento de aire.

La forma de reclutamiento se realizó de manera voluntaria y con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna. El sujeto estuvo en todo momento en posibilidad de rehusar continuar con el estudio sin tener que dar explicación. Además, el investigador estuvo al pendiente de riesgo o daño a la salud del sujeto, para en su caso suspender el estudio, sin embargo, no hubo necesidad de hacerlo.

Se entregó antes de iniciar el estudio una carta de consentimiento bajo información o consentimiento informado (Anexo H), el cual fue firmado por él y en la mayoría de los casos por dos testigos.

Se garantizó el pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos y riesgos a los que fue sometido asegurándose de que el sujeto comprendiera totalmente su participación en el estudio y aclarando cualquier duda cuando la hubo.

Para el caso de las mujeres, por interés propio del estudio se excluyeron a las mujeres embarazadas, sin embargo, en los dos casos que hubo duda se ofreció de manera gratuita una prueba de embarazo no invasiva (utilizando orina). Se aclaró que ninguna medición

antropométrica ni el estudio de pletismografía por desplazamiento de aire representa riesgo alguno, ni para el producto ni para la madre, en caso de que hubiese situación de embarazo.

Se contó con el dictamen favorable de las Comisiones de Investigación y de Ética del área académica de medicina del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

7.2 Bioseguridad

Este estudio no involucró la utilización de sustancias ionizantes ó electromagnéticas, isótopos radiactivos, microorganismos patógenos, ácidos nucleicos recombinantes u otros procedimientos análogos que pudieron representar riesgo para la salud de los sujetos de estudio ó del investigador.

8. Resultados

Los resultados se describen en forma detallada en el Anexo I. A continuación se encuentra un resumen a manera de artículo de los hallazgos encontrados en este estudio.

Predicción de la masa libre de grasa en adultos hidalguenses con sobrepeso basado en densidad corporal por BOD POD y antropometría

L Castro^{1*}, ME Valencia², R Ávila-Pozos³, J Villanueva⁴

¹ Programa de Maestría en Ciencias Biomédicas y de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo;

² División de Nutrición Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora; ³ Área académica de matemáticas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; ⁴ Área académica de nutrición, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ANTECEDENTES: En México el 70% de la población adulta está en situación de sobrepeso u obesidad y no se cuenta con herramientas de uso sencillo para estimar la masa grasa.

OBJETIVO: El propósito de este estudio fue obtener una ecuación de predicción a partir de medidas antropométricas orientada a la población adulta con sobrepeso u obesidad, utilizando como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire.

SUJETOS: Este estudio incluyó 119 sujetos adultos con sobrepeso u obesidad del estado de Hidalgo, México (61 mujeres y 58 hombres).

MEDIDAS: Porcentaje de grasa, estatura, peso, circunferencias de abdomen, pantorrilla y muñeca, diámetro sagital abdominal y pliegues subescapular y tricípital.

MÉTODOS: El porcentaje de grasa fue obtenido por pletismografía por desplazamiento de aire (Bod Pod) utilizando la fórmula de Brozek, las mediciones antropométricas fueron obtenidas directamente con cinta antropométrica, estadiómetro y plicómetro, el peso fue obtenido con la báscula del bod Pod. El total de la muestra fue dividido en dos partes, la primera (68 sujetos) para obtener a través de un modelo de regresión múltiple la mejor ecuación de predicción de la masa libre de grasa y la segunda (51 sujetos) para validar la ecuación obtenida. Procedimientos de ANOVA, regresión múltiple y Bland-Altman fueron usados para analizar los datos.

RESULTADOS: Se obtuvieron dos ecuaciones de predicción de la MLG, ecuación 1: $MLG = (-37.58 + (\text{Peso} \times 0.31) + (\text{Estatura} \times 0.38) + (\text{Sexo} \times 7.03))$, $R^2 = 0.897$ y $RMSE = 3.1$ kg; ecuación 2: $MLG = -13.496 - (0.651 \times \text{Diámetro sagital abdominal}) + (4.117 \times \text{Área de superficie corporal}) + (6.758 \times \text{Sexo})$, $R^2 = 0.910$ y $SRMSE = 2.95$ kg donde Sexo (0: Mujer, 1: Hombre) y Área de superficie corporal = $1/6 (\text{peso} \times \text{estatura})^{0.5}$; La media \pm desviación estándar de la MLG estimadas para las ecuaciones 1 y 2 fueron de 52.78 ± 10.6 y 52.84 ± 10.6 respectivamente, comparadas con 52.68 ± 10.6 medida. El resultado de la validación cruzada no mostró diferencias significativas con la línea de identidad, mostrando que ambas ecuaciones son precisas.

CONCLUSIÓN: Las nuevas ecuaciones de predicción son válidas para la población de procedencia. La ecuación 1 contiene variables más sencillas de obtener y el uso de ésta podría coadyuvar al personal de salud en el diagnóstico de la obesidad y a una mayor adherencia del paciente al tratamiento. La ecuación 2, podría ser utilizada con fines de investigación.

Palabras clave: Composición corporal, masa grasa (MG), masa libre de grasa (MLG), métodos antropométricos, ecuaciones de predicción, pletismografía por desplazamiento de aire (PDA).

1. Introducción

En México como en gran parte del mundo, la prevalencia de obesidad se ha convertido en un problema de salud ya que de acuerdo a cifras oficiales 4 de cada 10 adultos en el país está en situación de sobrepeso y 3 de obesidad.¹ Las consecuencias que la obesidad produce sobre la salud son muchas y variadas, de tal forma que los pacientes con obesidad ven incrementado el riesgo de sufrir una muerte prematura o de padecer enfermedades crónicas que disminuyan su calidad de vida.² El primer objetivo en la evaluación de la obesidad está dirigido a determinar la magnitud de la misma, haciendo referencia al exceso de tejido adiposo en el organismo. A pesar de que en la mayoría de las ocasiones el aumento de masa grasa se ve altamente correlacionado con un aumento de la masa corporal total (peso corporal)³, no siempre es así; de esta manera, se puede encontrar una persona con peso normal para su estatura que presenta un excesivo acúmulo de masa grasa principalmente en la región abdominal, que sólo se revela empleando técnicas de evaluación de composición corporal y que clasificado con el índice de masa corporal (IMC)⁴ podrían arrojar diagnósticos erróneos.⁵

Profesionistas de la salud deben evaluar a los pacientes basados en su composición corporal en lugar de su peso.⁶ Esta situación ha motivado al estudio de la composición corporal buscando determinar el porcentaje de grasa de un individuo para asociarlo a su estado de salud. Actualmente existen diversos métodos para evaluar la composición corporal en diferentes grupos de edad⁷; sin embargo, su validez es cuestionable en ciertas poblaciones como la de los sujetos con sobrepeso u obesidad y ha sido necesario realizar estudios específicos para validar cada método.⁸ Entre las técnicas más usadas por su bajo costo y relativa sencillez para estimar la grasa corporal es la antropometría, la cual bien puede ser a partir de la medición de algunos pliegues cutáneos (plicometría) o de circunferencias y longitudes. En el caso de la plicometría, la ecuación generalmente utilizada es la publicada por Durnin y Womersley⁹ para estimar la densidad corporal, sin embargo es importante hacer notar que dicha ecuación fue basada en los resultados obtenidos en población saludable y los resultados en personas adultas obesas suelen no ser tan buenos.¹⁰ Una forma alternativa para abordar esta situación es desarrollar métodos doblemente indirectos como las ecuaciones de predicción que estén dirigidas específicamente para la población objetivo

y que sean validadas con estándares de oro internacionalmente aceptados, esta práctica se ha venido desarrollando en México desde hace algunos años, utilizando como métodos de referencia la bioimpedancia eléctrica, densitometría ósea (DXA), dilución con deuterio o pletismografía por desplazamiento de aire.¹¹⁻¹⁷

Los trabajos de Alemán-Mateo y Valencia, están desarrollados mayoritariamente para población de adultos mayores y las muestras a partir de las cuales se derivan las ecuaciones pertenecen a sujetos mayores de 60 años que residen en el noroeste del país^{11,15,16}, en el caso de los trabajos de Ramírez y Valencia¹⁷, están dirigidos principalmente a población infantil entre 6 y 14 años de edad con residencia en el norte del país. A pesar de que Macías ha realizado trabajos en población adulta con edades entre 20 y 50 años¹³, su muestra poblacional proviene del noroeste del país. En relación a la condición de sobrepeso u obesidad no ha sido estudiada como un criterio de selección y diferenciación de la población.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollar y validar una ecuación para estimar la masa grasa corporal a partir de variables antropométricas sencillas de obtener en la práctica clínica cotidiana, tales como estatura, peso y circunferencias, utilizando como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire y dirigida a población adulta entre 20 y 50 años del centro del país y que se encuentre en situación de sobrepeso u obesidad.

2. Método

2.1 Protocolo experimental y sujetos

Se invitó a sujetos sanos residentes de Hidalgo o áreas circunvecinas con edad entre 20 y 50 años, IMC mayor o igual a 25 y circunferencia de cintura mayor a 80 cm para las mujeres y 92 cm para los hombres. Se obtuvieron medidas de 119 sujetos (61 mujeres y 58 hombres), el estudio se llevó a cabo entre septiembre del 2011 y marzo del 2012. Se les realizaron las medidas antropométricas y el estudio de pletismografía por desplazamiento

de aire. Todas las mediciones fueron realizadas en condición de ayuno, sin previo ejercicio en un horario de 7 a 10 am. Los sujetos fueron informados de la naturaleza de su participación y se les solicitó su consentimiento por escrito en cumplimiento a lo establecido por las comisiones de investigación y de ética del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

2.2 Antropometría

La estatura fue medida de acuerdo a la técnica de Lohman¹⁸ con el sujeto de pie y sentado con un estadiómetro de precisión milimétrica (SECA, Hamburgo, Alemania), las circunferencias de abdomen, pantorrilla y muñeca, así como la longitud de la línea media axilar al ombligo fueron obtenidas con una cinta antropométrica metálica de precisión milimétrica (Rosscraft Innovation incorporated, Canadá), los pliegues subescapular y tricípital fueron obtenidos con un plicómetro con precisión 10g/mm² (Harpenden) de acuerdo a las recomendaciones de Durning,¹⁹ el diámetro sagital abdominal fue medido en posición de pie a la altura del ombligo y decúbito supino utilizando un antropómetro colocado a la altura de la cama en el último caso, el peso fue obtenido por la báscula integrada al Bod Pod. Los sujetos fueron medidos vistiendo traje de baño o ropa ligera de licra ajustada al cuerpo, sin accesorios de ningún tipo.

2.3 Composición corporal por pletismografía

Los porcentajes de masa grasa y de masa libre de grasa fueron medidos con un pletismógrafo por desplazamiento de aire (Bod Pod) de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Se instruyó a los sujetos para que utilizaran ropa ligera ajustada al cuerpo y cubrieran por completo su cabello utilizando una gorra de licra incluida en el equipo y se despojaron de cualquier objeto externo, así como para que permanecieran limitando al máximo sus movimientos y respirando de forma relajada. La ecuación para la estimación utilizada fue la

de Brozek por ser la recomendada para sujetos con obesidad.²⁰ En todos los casos se estimó el volumen de aire torácico de acuerdo al algoritmo incluido en el equipo.

2.3 *Análisis estadístico*

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SPSS v15 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM), todos los resultados fueron expresados como la media de las variables \pm desviación estándar. El total de la muestra (119 sujetos) fue usada en dos particiones de manera aleatoria quedando una partición para obtener la ecuación de predicción con 68 sujetos (34 mujeres y 34 hombres) y la otra para validar la ecuación con 51 sujetos (27 mujeres y 24 hombres).

Se utilizó el análisis de regresión lineal con el método de pasos sucesivos del cual se obtuvo la R^2 más grande y el error de estimación más pequeño. El factor de inflación de varianza (VIF) fue realizado para verificar valores perdidos. El coeficiente de Mallows fue utilizado para comprobar la parsimonia del modelo. Se hizo análisis de multicolinealidad por el método de componentes principales y por correlación entre cada una de las variables independientes a través de regresión lineal simple. Se elaboró el análisis de regresión múltiple para determinar la relación de la variable MLG como variable dependiente, con las variables independientes estatura (cm), peso (kg), diámetro sagital abdominal (cm) y sexo (0:mujer, 1:hombre). La precisión de la ecuación obtenida fue probada por la prueba t de Student pareada.

El gráfico de Bland-Altman para las diferencias entre la MLG obtenida por pletismografía y por la ecuación de predicción fue utilizado para evaluar el sesgo. Este procedimiento prueba la hipótesis que el error metodológico está distribuido aleatoriamente

Resultados

En este estudio, 119 sujetos (20-50 años) residentes del estado de Hidalgo, México fueron evaluados. Los resultados de las variables antropométricas y de la composición corporal de los sujetos son presentados en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Caracterización de la muestra total

	Total (n=119)	Mujeres (n=61)	Hombres (n=58)
Generales			
Edad (años)	33.1 ± 9.6 ^a	33.3 ± 10.1	33.0 ± 9.2
Antropometría			
Estatura de pie (cm)	164.3 ± 9.2	157.7 ± 5.9	171.4 ± 6.5
Masa Corporal Total (kg)	81.8 ± 14.2	75.0 ± 12.6	89.2 ± 12.0
Longitudes			
Estatura sentado (cm)	128.7 ± 4.1	125.9 ± 2.8	131.7 ± 3.0
Linea media axilar al onfolio (cm)	27.6 ± 3.4	27.3 ± 3.3	27.69 ± 3.4
Diámetros			
Sagital abdominal de pie (cm)	27.1 ± 3.8	26.6 ± 3.9	27.6 ± 3.7
Sagital abdominal decúbito (cm)	23.7 ± 3.1	23.3 ± 3.1	24.1 ± 3.2
Circunferencias			
Muñeca (cm)	16.3 ± 1.2	15.4 ± 0.8	17.2 ± 0.7
Abdomen Prominente (cm)	104.0 ± 10.2	103.6 ± 10.5	104.5 ± 10.0
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	102.0 ± 10.6	99.9 ± 11.0	104.2 ± 9.7
Pantorrilla (cm)	38.9 ± 3.1	38.1 ± 3.4	39.8 ± 2.6
Pliegues			
Subescapular (cm)	21.3 ± 4.8	21.0 ± 4.2	21.7 ± 5.4
Tricipital (cm)	15.3 ± 4.5	18.1 ± 3.6	12.3 ± 3.3
Pletismografía			
Porcentaje de masa grasa (%)	34.2 ± 7.2	38.4 ± 5.2	29.9 ± 6.5
Porcentaje de masa libre de grasa (%)	65.8 ± 7.2	61.6 ± 5.2	70.1 ± 6.5
Masa grasa (kg)	28.2 ± 8.8	29.2 ± 8.5	27.1 ± 9.0
Masa libre de grasa (kg)	53.7 ± 10.0	45.7 ± 5.5	62.0 ± 6.2
Índices antropométricos			
IMC (kg/m ²) ^b	30.3 ± 4.4	30.1 ± 4.8	30.4 ± 4.0
Índice de Conicidad	1.3 ± 0.06	1.3 ± 0.07	1.3 ± 0.05
Complexión	10.1 ± 0.7	10.3 ± 0.6	9.9 ± 0.7
Superficie del área corporal	19.3 ± 2.0	18.0 ± 1.6	20.56 ± 1.52

^aX ± DS

^bÍndice de Masa Corporal

Una submuestra aleatoria de 68 sujetos fue utilizada para desarrollar la ecuación de predicción a partir de la MLG obtenida por pletismografía por desplazamiento de aire (bod

pod) y otra submuestra de 51 sujetos fue utilizada para validar la ecuación. La caracterización de ambas particiones se presenta en la **Tabla 2**.

No se encontraron diferencias significativas en las medidas de los sujetos entre las dos submuestras, por lo que fueron homogéneas (t de Student, $p>0.05$).

Tabla 2. Caracterización de las submuestras

	Submuestra Modelo ($n=68$)	Submuestra Validación ($n=51$)
Generales		
Edad (años)	32.6 ± 9.2 (20,50) ^a	33.9 ± 10.2 (20,50) ^a
Antropometría		
Estatura de pie (cm)	164.9 ± 8.8 (147.9, 184.5)	163.5 ± 9.7 (135.7, 183.5)
Masa Corporal Total (kg)	83.1 ± 13.1 (59.6, 117.6)	80.2 ± 15.4 (53.2, 123.6)
Longitudes		
Estatura sentado (cm)	128.9 ± 3.9 (122.2, 137.2)	128.5 ± 4.5 (117.4, 138.2)
Linea media axilar al onfolio (cm)	27.5 ± 3.3 (21.2, 40.0)	27.7 ± 3.5 (22.8, 39.0)
Diámetros		
Sagital abdominal de pie (cm)	27.3 ± 3.9 (20.3, 40.4)	26.8 ± 3.8 (22.3, 37.8)
Sagital abdominal decúbito (cm)	23.9 ± 3.2 (19.1, 33.6)	23.3 ± 3.0 (19.3, 32.4)
Circunferencias		
Muñeca (cm)	16.4 ± 1.2 (13.9, 18.7)	16.1 ± 1.3 (13.8, 19.5)
Abdomen Prominente (cm)	104.4 ± 10.1 (84.1, 135.0)	103.6 ± 10.4 (91.4, 130.6)
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	102.3 ± 10.8 (83.8, 132.9)	101.6 ± 10.3 (87.0, 129.8)
Pantorrilla (cm)	39.3 ± 2.9 (32.5, 47.5)	38.5 ± 3.4 (31.8, 48.3)
Pliegues		
Subescapular (cm)	21.6 ± 4.5 (13.6, 33.8)	20.9 ± 5.2 (11.7, 33.5)
Tricipital (cm)	15.7 ± 4.4 (8.4, 25.5)	14.8 ± 4.5 (5.8, 23.7)
Pletismografía		
Porcentaje de masa grasa (%)	34.4 ± 7.3 (14.7, 52.3)	34.1 ± 7.2 (14.2, 47.4)
Porcentaje de masa libre de grasa (%)	65.7 ± 7.3 (47.7, 85.3)	65.8 ± 7.1 (52.6, 85.8)
Masa grasa (kg)	28.7 ± 8.7 (11.4, 58.9)	27.5 ± 8.9 (10.8, 54.2)
Masa libre de grasa (kg)	54.4 ± 9.6 (38.7, 76.4)	52.6 ± 10.6 (35.5, 75.7)
Índices antropométricos		
IMC (kg/m^2) ^b	30.6 ± 4.4 (25, 45.6)	29.9 ± 4.4 (25, 40.9)
Índice de Conicidad	1.3 ± 0.06 (1.2, 1.5)	1.3 ± 0.06 (1.2, 1.5)
Complexión	10.1 ± 0.5 (8.8, 11.4)	10.1 ± 0.5 (9.0, 11.5)
Superficie del área corporal	19.5 ± 1.8 (15.9, 23.1)	19.0 ± 2.2 (14.7, 24.4)

^a $\bar{X} \pm DS$ (min, max)

^b Índice de Masa Corporal

Las ecuaciones obtenidas por análisis de regresión múltiple incluyen las variables sexo, estatura, diámetro sagital abdominal, superficie del área corporal y peso como factor pronóstico como se muestra en las **Tablas 3 y 4**.

Tabla 3. Determinación de la ecuación 1 de predicción para la MLG (n=68)

Resumen de la ecuación 1 de predicción						
	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente estandarizado	t*	R ²	RMSE**
Término constante	-37.581	10.316		-3.643	0.898	3.147
Peso	0.310	0.340	0.423	9.183		
Estatura	0.380	0.068	0.327	5.612		
Sexo	7.029	1.140	0.368	6.169		

* Significativo con $p < 0.01$

**Error típico de la estimación

Tabla 4. Determinación de la ecuación 2 de predicción para la MLG (n=68)

Resumen de la ecuación 2 de predicción						
	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente estandarizado	t*	R ²	RMSE**
Término constante	-13.496	4.490		-3.006	0.91	2.949
Peso	6.758	0.997	0.354	6.78		
Estatura	-0.651	0.156	-0.217	-4.175		
Sexo	4.117	0.334	0.784	12.331		

* Significativo con $p < 0.01$

**Error típico de la estimación

Dando origen a las siguientes ecuaciones de predicción de la MLG :

$$MLG = -37.581 + 0.310W + 0.380H + 7.029S \quad R^2=0.898; SRMSE=3.14 \text{ kg} \quad (1)$$

Donde: W=peso (kg); H=estatura (cm); S= sexo (0:Mujer, 1:Hombre).

$$MLG = -13.496 - 0.651D + 4.117A + 6.758S \quad R^2=0.910; SRMSE=2.95 \text{ kg} \quad (2)$$

Donde: D=diámetro sagital abdominal (cm); A=área de superficie corporal (cm^2) = $1/6$ (peso (kg) x estatura (cm))^{0.5}; S= sexo (0:Mujer, 1:Hombre).

El resultado de la prueba t de Student pareada no arrojó diferencia significativa entre la media obtenida por el método de pletismografía por desplazamiento de aire utilizado como referencia y las ecuaciones resultantes.

3. Discusión

Las ecuaciones de predicción para la MLG obtenidas son precisas, exactas y libres de sesgos e incluyen solo variables antropométricas de simple obtención.

Las ecuaciones desarrolladas en el presente trabajo son las primeras validadas para adultos mexicanos en situación de sobrepeso u obesidad de la región central del país utilizando como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire (PDA).

En sujetos obesos, las medidas antropométrica de pliegues cutáneos y circunferencia de muñeca han demostrado ser poco precisos para la estimación de MG^{21,22}, y la circunferencia de pantorrilla es utilizada como variable de predicción del estado de nutrición en población mayor de 60 años²³, por lo que al no ser seleccionadas en las ecuaciones obtenidas hay coincidencia con lo reportado en la literatura.

El peso, la estatura y el sexo son factores de predicción que coinciden en ecuaciones de estimación de MLG desarrolladas por otros autores^{24,25}, particularmente el sexo ha sido incorporado en ecuaciones reconociendo la diferencia en MG y MLG entre hombres y mujeres²⁶.

La incorporación del diámetro sagital abdominal (DSA) en la ecuación 2, concuerda con la fuerte correlación de éste con la circunferencia de cintura, observando fuerte asociación del DSA a dislipidemias en población con obesidad²⁷.

El área de superficie corporal estimada a partir del peso y la estatura, es una forma diferente de asociación de estas variables que permite incorporar a las ecuaciones de predicción de MLG una dimensión del cuerpo novedosa.

Las ecuaciones desarrolladas en este estudio tienen un poder predictivo ($R^2 = 0.898$ y $SRMSE=3.14$ kg; $R^2=0.910$; $SRMSE=2.95$ kg) similar al de otras que han sido obtenidas a partir de medidas antropométricas de población mexicana, tal como la de Huerta-Huerta ($R^2 = 0.86$; $SRMSE=3.2$ kg) y Ramírez ($R^2 = 0.91$; $SRMSE = 1.60$ kg); y menor a otras obtenidas a partir de medidas antropométricas y bioimpedancia eléctrica, como las de

Macías ($R^2 = 0.97$; SRMSE = 1.99 kg) y Ramírez ($R^2 = 0.96$; SRMSE = 1.39 kg) también obtenidas de población mexicana, resaltando que los trabajos de Ramírez están dirigidos a población joven entre 6 y 14 años y los de Huerta en población adulta mayor a 60 años.

Ambas ecuaciones obtenidas fueron precisas y exactas, comprobado por el método de análisis de regresión entre los valores de MLG obtenidos a través de las ecuaciones obtenidas y los valores obtenidos por el método de PDA como se muestra en la **Figura 1**.

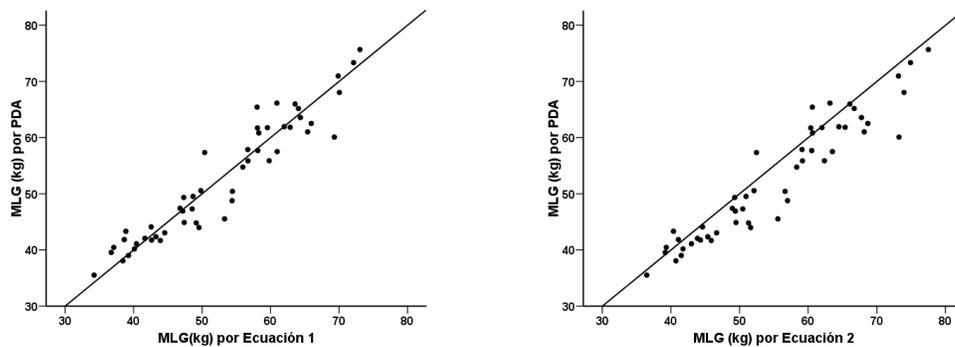


Figura 1. Gráfico de comparación de la MLG medidas por PDA y estimadas usando las ecuaciones 1 y 2. (n=51)

El análisis de Bland y Altman determinó que no hubo sesgo significativo para los valores obtenidos por las ecuaciones propuestas y el método de referencia PDA, como se muestra en la **Figura 2**.

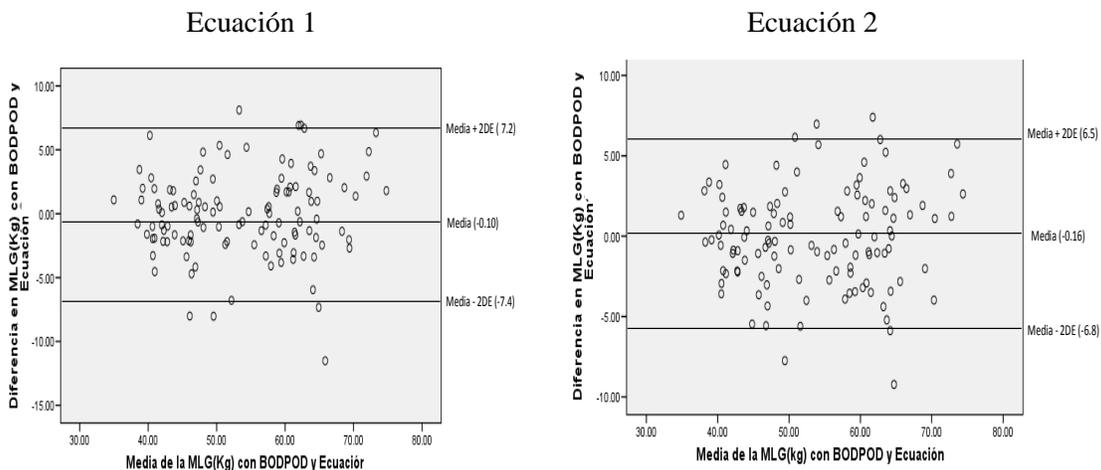


Figura 2. Diferencias en la MLG medidas por el bod pod y estimadas por factores de predicción antropométricos usando las ecuaciones desarrolladas. (n=51)

Los límites de concordancia mostrados en la **Tabla 5** -0.10 ± 7.29 y -0.16 ± 6.67 kg para las ecuaciones 1 y 2 respectivamente son muy amplios y esto en parte se explica porque los

datos obtenidos por antropometría son extraídos principalmente de características externas, en el caso del peso como factor de predicción es más susceptible a variabilidad debido a que la población de estudio tiene sobrepeso u obesidad y este puede estar determinado parcialmente por otros factores y no exclusivamente a partir de MG. Sin embargo, la simplicidad de su obtención podría compensar en parte la amplitud de los límites.

Tabla 5. Comparativo de la MLG medido por el bod pod y ecuaciones obtenidas

n=51	MLG (kg) (media \pm DE)	diferencia de medias entre BODPOD y ecuación	Límites de concordancia (media \pm 2DE)
BOP POD	52.68 \pm 10.6		
Ecuación 1	52.78 \pm 10.6	-0.10	-7.39 , 7.19
Ecuación 2	52.84 \pm 10.6	-0.16	-6.84 , 6.51

Alemán-Mateo valida la PDA mediante el uso del BOD POD como método para evaluar la composición corporal bicompartamental en adultos mayores mexicanos, lo que permite utilizarlo como método de referencia para el desarrollo de ecuaciones de predicción, haciendo notar que la población objetivo de este estudio tiene otras características, pero que el equipo ha sido validado internacionalmente para poblaciones similares en cuanto a edad e IMC.²⁸⁻³⁰

La **Figura 3** muestra una correlación positiva entre el IMC y el porcentaje de masa grasa en adultos de 20 a 50 años con obesidad ($r=0.599$, $n=68$).

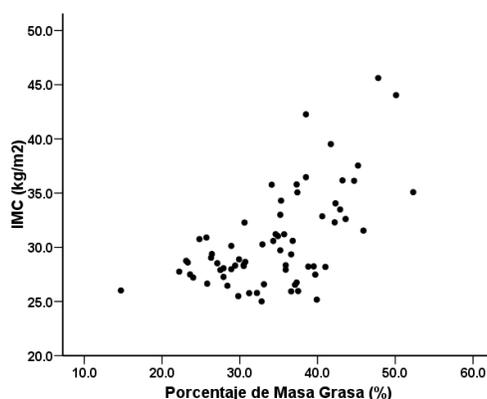


Figura 3. Gráfico de correlación entre el IMC (kg/m^2) y el Porcentaje de MG.

Goh y Deurenberg han cuestionado los puntos de corte basados en el IMC para definir a la obesidad^{26,31} respecto a los puntos de corte para el porcentaje de masa grasa de 25% y 35% para hombres y mujeres respectivamente propuesto por la OMS. En la **Figura 4** se confirma que hay diferencias entre la clasificación de peso obtenida a partir del Índice de Masa Corporal (IMC) y los porcentajes de grasa medidos a través de pletismografía por desplazamiento de aire, la clasificación en términos del IMC no refleja el excedente de grasa que esté igualmente bien correlacionado con los niveles de grasa recomendados por su relación con riesgo de enfermedad.³²⁻³⁴

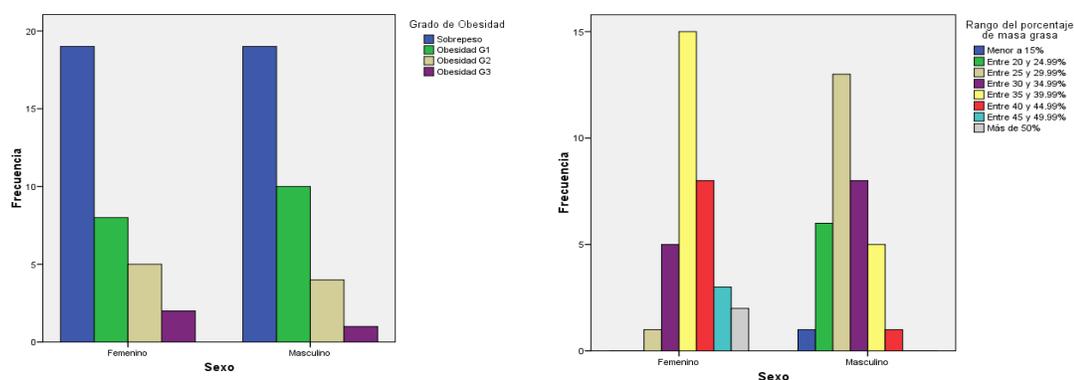


Figura 4 Comparativo de distribución del IMC clasificada por grado de obesidad de acuerdo a la NOM-008-SSA3-2010 y , por rango de porcentaje de MG, diferenciada por sexo.

En la **Tabla 6** se muestra que la clasificación de obesidad con base en IMC mayor o igual a 30 arroja 64.3% de falsos negativos cuando se compara con la clasificación de obesidad siguiendo el criterio MG mayor a 25% para hombres y 35% para mujeres.

Tabla 6. Comparativo entre clasificaciones de obesidad por el criterio de IMC y de Porcentaje de MG medido por pletismografía por desplazamiento de aire y estimado por las ecuaciones 1 y 2 (n=119).

		Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA			
		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por IMC	No obesos	Recuento	25	45	70
		Porcentaje	35.7%	64.3%	100%
	Obesos	Recuento	3	46	49
		Porcentaje	6.1%	93.9%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

La sensibilidad obtenida es de 0.50 y la especificidad de 0.89

Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA

		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por porcentaje de grasa Ecuación 1	No obesos	Recuento	14	8	22
		Porcentaje	63.6%	36.4%	100%
	Obesos	Recuento	14	83	97
		Porcentaje	14.4%	85.6%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

La sensibilidad obtenida es de 0.91 y la especificidad de 0.50

Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA

		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por porcentaje de grasa Ecuación 2	No obesos	Recuento	24	34	58
		Porcentaje	41.4%	58.6%	100%
	Obesos	Recuento	4	57	61
		Porcentaje	6.6%	93.4%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

La sensibilidad obtenida es de 0.63 y la especificidad de 0.86

4. Conclusiones

La importancia de adecuar los puntos de corte para definir la obesidad es mejorar la sensibilidad (falsos- negativos) y especificidad (falsos-positivos) del diagnóstico cuando es dado por el IMC. Las ecuaciones de predicción generadas pueden ser de gran utilidad para estimar la masa libre de grasa en adultos en condiciones similares al grupo estudiado a partir de mediciones antropométricas de fácil obtención y a partir de éstas de manera indirecta el porcentaje de masa grasa. La ecuación 1, por su sencillez de obtención y cálculo, podría coadyuvar a los profesionistas de la salud a un diagnóstico de mayor impacto en la adherencia al tratamiento en la población con sobrepeso u obesidad. La ecuación 2 podría ser utilizada con fines de investigación.

Referencias

- 1 Olaiz-Fernández G, Shamah-Levy T, Rojas R, Villarpando-Hernández S, Hernández-Ávila M, Sepúlveda-Amor J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública; 2006. Disponible en www.insp.mx/ensanut/ensanut2006.pdf
- 2 García-García E, et al. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Salud Pública de México*. [Artículo especial] 2008; **50**(6): 530-547.
- 3 Heymsfield SB, Baumgartner R, Pan S. Valoración nutricional de la desnutrición mediante métodos antropométricos. In: Shils ME, Olson J, Shike M, Ross A, editors. *Nutrición en salud y enfermedad*. 9a ed. Mexico: McGraw-Hill Interamericana; 1999. p. 1100.
- 4 Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, NOM-008-SSA3-2010 (2010). Disponible en: <http://web.ssaver.gob.mx/obesidad/files/2012/02/norma-oficial-mexicana-nom-008-ssa3-2010-PARA-EL-TRATAMIENTO-INTEGRAL-DEL-SOBREPESO-Y-LA-OBESIDAD.pdf>
- 5 Smalley KJ, Knerr AN, Kendrick ZV, Colliver JA, Owen OE. Reassessment of body mass indices. *Am J Clin Nutr*. 1990 Sep;**52**(3):405-8.
- 6 Flegal KM, Troiano RP, Ballard-Barcosh R: Aim for a healthy weight: what is the target? *J Nutr* 2001, **131**(2S-1): 440S-450S
- 7 Ávila-Rosas H, Caraveo-Enriquez V, Valdes-Ramos R, Tejero E. Evaluación del estado de nutrición. In: Casanueva E, Kaufer M, Perez-Lizaur AB, Arroyo P, editors. *Nutriología Médica*. 3 ed. México: Ed. Panamericana; 2008. p. 747-84.
- 8 Ginde S, Geliebter A, Rubiano F, Silva A, Wang J, Heshka S, et al. Air Displacement Plethysmography: Validation in Overweight and Obese Subjects. *Obesity Research*. 2005 Jul;**13**(7):1232-37.
- 9 Durnin JV, Womersley J. 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. *Br J Nutr*. 1974 Jul;**32**(1):77-97.
- 10 Kiczmariski RJ, Fanelli MT, Koch GC. Ultrasonic assessment of body composition in obese adults: overcoming the limitations of the skinfold caliper. *Am J Clin Nutr* 1987; **45**(April(4)):717-24.
- 11 Aleman-Mateo H, Esparza Romero J, Macias Morales N, Salazar G, Wyatt J, Valencia ME. Determination of body composition using air displacement plethysmography, anthropometry and bio-electrical impedance in rural elderly Mexican men and women. *J Nutr Health Aging*. 2004;**8**(5):344-9
- 12 Ramirez-Lopez E, Valencia M. Tamaño y Composición corporal en niños mexicanos I: Implicaciones en el uso del BOD POD, DXA y Dilución con Deuterio en la evaluación de la masa grasa y masa libre de grasa. *Respyn*. 2008;**9**(3).
- 13 Macias NA-M, H Esparza-Romero, J Valencia, M. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutr Journal*. 2007;**6**(18):1-7.
- 14 Huerta R, Esparza Romero J, Urquidez R, Pacheco B, Valencia M, Aleman-Mateo H. Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2007;**57**(4):357-68.
- 15 Valencia ME, Aleman-Mateo H, Salazar G, Hernandez 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 Jul;**27**(7):848-55.
- 16 Aleman-Mateo H, Rush E, Esparza-Romero J, Ferriolli E, Ramirez-Zea M, Bour A, et al. Prediction of fat-free mass by bioelectrical impedance analysis in older adults from developing countries: a cross-validation study using the deuterium dilution method. *J Nutr Health Aging*. 2010 Jun;**14**(6):418-26.

- 17 Ramirez E, Valencia ME, Bourges H, Espinosa T, Moya-Camarena SY, Salazar G, et al. Body composition prediction equations based on deuterium oxide dilution method in Mexican children: a national study. *Eur J Clin Nutr.* 2012 Oct;**66**(10):1099-103.
- 18 Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standarization reference manual: Human Kinetics Books;* 1988.
- 19 Durnin JV, Womersley J. 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. *Br J Nutr.* 1974 Jul;**32**(1):77-97.
- 20 BOD POD Body Composition Tracking System Operator's Manual – P/N 210-2300 Rev. F:13-14.
- 21 Kuczmarski RJ, Fanelli MT, Koch GG. Ultrasonic assessment of body composition in obese adults: overcoming the limitations of the skinfold caliper. *Am J Clin Nutr.* 1987 Apr;**45**(4):717-24
- 22 Akridge M, Hilgers KK, Silveira AM, Scarfe W, Scheetz JP, Kinane DF. Childhood obesity and skeletal maturation assessed with Fishman's hand-wrist analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Aug;**132**(2):185-90.
- 23 Tsai AC, Chang TL, Wang YC, Liao CY. Population-specific short-form mini nutritional assessment with body mass index or calf circumference can predict risk of malnutrition in community-living or institutionalized elderly people in taiwan. *J Am Diet Assoc.* 2010 Sep;**110**(9):1328-34
- 24 Valencia ME, Aleman-Mateo H, Salazar G, Hernandez 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 Jul;**27**(7):848-55.
- 25 Macias NA-M, H Esparza-Romero, J Valencia, M. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutr Journal.* 2007;**6**(18):1-7
- 26 Goh VH, Tain CF, Tong TY, Mok HP, Wong MT. Are BMI and other anthropometric measures appropriate as indices for obesity? A study in an Asian population. *J Lipid Res.* 2004 Oct;**45**(10):1892-8.
- 27 Pimentel GD, Moreto F, Takahashi MM, Portero-McLellan KC, Burini RC. Sagital abdominal diameter, but not waist circumference is strongly associated with glycemia, triacilglycerols and HDL-C levels in overweight adults. *Nutr Hosp.* 2011 Sep-Oct;**26**(5):1125-9
- 28 Davis JA, Dorado S, Keays KA, Reigel KA, Valencia KS, Pham PH. Reliability and validity of the lung volume measurement made by the BOD POD body composition system. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007 Jan;**27**(1):42-6.
- 29 Petroni ML, Bertoli S, Maggioni M, Morini P, Battezzati A, Tagliaferri MA, et al. Feasibility of air plethysmography (BOD POD) in morbid obesity: a pilot study. *Acta Diabetol.* 2003 Oct;**40** Suppl 1:S59-62.
- 30 Plasqui G, Soenen S, Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR. Measurement of longitudinal changes in body composition during weight loss and maintenance in overweight and obese subjects using air-displacement plethysmography in comparison with the deuterium dilution technique. *Int J Obes (Lond).* 2011 Aug;**35**(8):1124-30.
- 31 Deurenberg-Yap M, Deurenberg P. Is a re-evaluation of WHO body mass index cut-off values needed? The case of Asians in Singapore. *Nutr Rev.* 2003 May;**61**(5 Pt 2):S80-7
- 32 Kim CH, Park HS, Park M, Kim H, Kim C. Optimal cutoffs of percentage body fat for predicting obesity-related cardiovascular disease risk factors in Korean adults. *Am J Clin Nutr.* 2011 Jul;**94**(1):34-9
- 33 Cho YG, Song HJ, Kim JM, Park KH, Paek YJ, Cho JJ, et al. The estimation of cardiovascular risk factors by body mass index and body fat percentage in Korean male adults. *Metabolism.* 2009 Jun;**58**(6):765-71.
- 34 Gomez-Ambrosi J, Silva C, Galofre JC, Escalada J, Santos S, Gil MJ, et al. Body adiposity and type 2 diabetes: increased risk with a high body fat percentage even having a normal BMI. *Obesity (Silver Spring).* 2011 Jul;**19**(7):1439-44.

9. Discusión de resultados

A la fecha son escasos los estudios acerca de la predictibilidad de indicadores antropométricos simples para estimar la masa libre de grasa en personas adultas con sobrepeso u obesidad, sobre todo porque los datos disponibles sugieren considerar la variabilidad étnica en su aplicación por lo que en la práctica clínica de rutina se torna difícil realizar estimaciones que den certeza y confiabilidad a las mediciones de los diferentes compartimentos y propicien un adecuado tratamiento que conduzca a una pérdida de peso equilibrada.

En este estudio se encontró que indicadores simples como la masa corporal total (peso), la estatura y el sexo, permiten estimar a través de una ecuación de predicción el componente masa libre de grasa en un grupo de adultos Mexicanos entre 20 y 50 años del centro de México en situación de sobrepeso u obesidad.

Se corrobora que hay una alta correlación entre el IMC y el porcentaje de masa grasa (0.599 con un nivel de significancia de .01), sin embargo la clasificación del IMC dibuja una distribución más cercana a la normal que la que muestra el porcentaje de grasa, cuya distribución presenta un marcado sesgo positivo. Por lo que la clasificación de la obesidad actual basada en el IMC no refleja la situación real en términos de grasa de los sujetos.

Sujetos con IMC normal pero con porcentaje de masa grasa aumentado, tienen prevalencia más alta de factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares que aquellos que tienen menor porcentaje de masa grasa, situándose en nivel de riesgo similar a los varones con clasificación de sobrepeso de acuerdo a IMC (102).

El Diámetro Sagital Abdominal es mejor factor pronóstico de riesgo de enfermedad que otras medidas como la circunferencia de cadera o el índice cintura cadera, porque correlaciona directamente con la adiposidad corporal total y abdominal (103).

Las ecuaciones resultantes de este proyecto son especialmente útiles para la población adulta del centro de México entre 20 y 50 años de edad con sobrepeso u obesidad y pueden

ser utilizadas en otras poblaciones de características similares validándolas para esa población.

La población adulta con bajo peso y peso normal fue excluida de este estudio, por lo que se requiere de nuevos modelos que la incluyan.

10. Conclusiones y sugerencias

La importancia de adecuar los puntos de corte para definir la obesidad es mejorar la sensibilidad (falsos- negativos) y especificidad (falsos-positivos) del diagnóstico.

Las ecuaciones de predicción generadas pueden ser de gran utilidad para estimar la masa libre de grasa en adultos en condiciones similares al grupo estudiado a partir de mediciones antropométricas de fácil obtención. La ecuación 1, por su sencillez de obtención y cálculo, podría coadyuvar a los profesionistas de la salud a un diagnóstico de mayor impacto en la adherencia al tratamiento en la población con sobrepeso u obesidad. La ecuación 2 podría ser utilizada con fines de investigación.

Se destaca el hecho de ser el primer proyecto de investigación de este tipo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Se hace la revisión de ecuaciones de predicción de composición corporal bicompartamental a nivel nacional e internacional y se elabora una guía práctica de la metodología para desarrollar este tipo de ecuaciones.

Se forma una base de datos que puede ser usada en modelos originados para otras poblaciones con la finalidad de hacer comparativos.

Se sugiere realizar un estudio a nivel nacional con el objeto de evaluar y en su caso proponer los puntos de corte del IMC de acuerdo al riesgo de enfermedades considerando el porcentaje de masa grasa para la población mexicana y la elaboración de tablas con la recomendación de masa grasa como guía no sólo para los profesionales de la salud, sino para la población misma.

11. Referencias

1. CONAPO. Principales causas de mortalidad en México 1980 – 2007. In: Población SGdCnd, editor. México: XLIII Periodo de Sesiones de la Comisión de Población y Desarrollo “Salud, morbilidad, mortalidad y desarrollo”; 2010.
2. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. Ginebra: WHO1997 June 3-5.
3. Wang ZM, Pierson RN, Jr., Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr.* 1992 Jul;56(1):19-28.
4. Going S. Hidrodensitometría y pletismografía de desplazamiento de aire. In: Heymsfield AJ, editor. *Composición Corporal*. Segunda ed. Mexico: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
5. Schoeller D. Hidrometría. In: Heymsfield A, editor. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
6. Ellis KJ. Recuento de cuerpo completo y análisis de activación de neutrones. In: Heymsfield AJ, editor. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
7. Lohman TG, Chen Z. Absorciometría radiográfica de energía dual. In: Heymsfield A, Lohman T, Wang Z, Going S, editors. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
8. Cameron Chumlea W, Sun S. Análisis de impedancia bioeléctrica. In: Heymsfield A, Lohman T, Wang S, Going S, editors. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
9. Ross R, Janssen I. Tomografía computarizada e imágenes de resonancia magnética. In: Heymsfield SB, Lohman T, Wang SC, Going S, editors. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2005. p. 522.
10. Puche CR. El índice de masa corporal y los razonamientos de un astrónomo. *Medicina (B Aires)*. [Especial]. 2005 5-IV-2005;65: 361-5.
11. Goh VH, Tain CF, Tong TY, Mok HP, Wong MT. Are BMI and other anthropometric measures appropriate as indices for obesity? A study in an Asian population. *J Lipid Res.* 2004 Oct;45(10):1892-8.
12. Olaiz-Fernández G, Shamah-Levy T, Rojas R, Villarpando-Hernández S, Hernández-Ávila M, Sepúlveda-Amor J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública; 2006.
13. Macias NA-M, H Esparza-Romero, J Valencia, M. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutr Journal.* 2007;6(18):1-7.
14. Valencia ME, Aleman-Mateo H, Salazar G, Hernandez 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 Jul;27(7):848-55.
15. Aleman-Mateo H, Romero JE, Morales NM, Salazar G, Triana MH, Valencia ME. Body composition by three-compartment model and relative validity of some methods to assess percentage body fat in mexican healthy elderly subjects. *Gerontology.* 2004 Nov-Dec;50(6):366-72.

16. Huerta R, Esparza Romero J, Urquidez R, Pacheco B, Valencia M, Aleman-Mateo H. Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2007;57(4):357-68.
17. Ramirez E, Valencia ME, Moya Camarena SY, Aleman-Mateo H, Mendez RO. [Estimation of body fat by DXA and the four compartment model in Mexican youth]. *Arch Latinoam Nutr*. 2010 Sep;60(3):240-6.
18. Ramirez E, Valencia ME, Moya-Camarena SY, Aleman-Mateo H, Mendez RO. Four-compartment model and validation of deuterium dilution technique to estimate fat-free mass in Mexican youth. *Nutrition*. 2009 Feb;25(2):194-9.
19. Ruiz M. Álvaro MZLE, editor. *Epidemiología Clínica. Investigación clínica aplicada*. Colombia: Editorial Médica Panamericana; 2004.
20. Bellisari A, Roche AF. Antropometría y ecografía. In: Heymsfield A, editor. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2007. p. 522.
21. Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, NOM-008-SSA3-2010 (2010).
22. Malina R. Variación en la composición corporal asociada con sexo y etnicidad. In: Heymsfield A, editor. *Composición Corporal*. México: McGraw-Hill; 2007. p. 271-98.
23. Chumlea SSyC, editor. *Métodos estadísticos*. 2a ed. México 2005.
24. Samaras TT, Storms LH, Elrick H. Longevity, mortality and body weight. *Ageing Res Rev*. 2002 Sep;1(4):673-91.
25. Liu LL, Lawrence JM, Davis C, Liese AD, Pettitt DJ, Pihoker C, et al. Prevalence of overweight and obesity in youth with diabetes in USA: the SEARCH for Diabetes in Youth study. *Pediatr Diabetes*. 2010 Feb;11(1):4-11.
26. Koning AM, Kuchenbecker WK, Groen H, Hoek A, Land JA, Khan KS, et al. Economic consequences of overweight and obesity in infertility: a framework for evaluating the costs and outcomes of fertility care. *Hum Reprod Update*. 2010 May-Jun;16(3):246-54.
27. Kimani-Murage EW, Kahn K, Pettifor JM, Tollman SM, Dunger DB, Gomez-Olive XF, et al. The prevalence of stunting, overweight and obesity, and metabolic disease risk in rural South African children. *BMC Public Health*. 2010;10:158.
28. Kim SY, England L, Wilson HG, Bish C, Satten GA, Dietz P. Percentage of gestational diabetes mellitus attributable to overweight and obesity. *Am J Public Health*. 2010 Jun;100(6):1047-52.
29. Di Guardo A, Profeta G, Crisafulli C, Sidoti G, Zammataro M, Paolini I, et al. Obstructive sleep apnoea in patients with obesity and hypertension. *Br J Gen Pract*. 2010 May;60(574):325-8.
30. Cameron M, Scully M, Herd N, Jamsen K, Hill D, Wakefield M. The Role of Overweight and Obesity in Perceived Risk Factors for Cancer: Implications for Education. *J Cancer Educ*. 2010 Mar 9.
31. Chen G, Liu C, Yao J, Jiang Q, Chen N, Huang H, et al. Overweight, obesity, and their associations with insulin resistance and beta-cell function among Chinese: a cross-sectional study in China. *Metabolism*. 2010 Jul 22.

-
32. Rivadeneyra-Torrija C. Civilización de la abundancia y cultura de lo necesario. Foro Ciudadano sobre Discriminación y Fobia por Obesidad; abril 27- junio 17; Congreso del Estado de Puebla, México 2010.
 33. Agerstrom J, Rooth DO. The role of automatic obesity stereotypes in real hiring discrimination. *J Appl Psychol*. 2011 Jul;96(4):790-805.
 34. O'Brien KS, Latner JD, Ebner D, Hunter JA. Obesity discrimination: the role of physical appearance, personal ideology, and anti-fat prejudice. *Int J Obes (Lond)*. 2012 Apr 24.
 35. Schultz SG. William Harvey and the circulation of the blood: the birth of a scientific revolution and modern physiology. *News Physiol Sci*. 2002 Oct;17:175-80.
 36. Shen W, St-Onge MP, Wang B, Heymsfield SB. Estudio de la composición corporal: generalidades. In: Heymsfield A, Iohman T, Wang Z, Going S, editors. *Composición corporal*. 2a ed. México: McGraw-Hill; 2007. p. 3-14.
 37. Cohn SH, Dombrowski CS. Measurement of total-body calcium, sodium, chlorine, nitrogen, and phosphorus in man by in vivo neutron activation analysis. *J Nucl Med*. 1971 Jul;12(7):499-505.
 38. Forbes GB, Gallup J, Hursh JB. Science, Volume 133, 1961: Estimation of total body fat from potassium-40 content. *Nutr Rev*. 1991 Apr;49(4):109-11.
 39. Heymsfield SB, Baumgartner R, Pan S. Valoración nutricional de la desnutrición mediante métodos antropométricos. In: Shils ME, Olson J, Shike M, Ross A, editors. *Nutrición en salud y enfermedad*. 9a ed. Mexico: McGraw-Hill interamericana; 1999. p. 1100.
 40. Heymsfield SB, Wang Z, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr*. 1997;17:527-58.
 41. Organ LW, Eklund AD, Ledbetter JD. An automated real time underwater weighing system. *Med Sci Sports Exerc*. 1994 Mar;26(3):383-91.
 42. Shaikh MG, Crabtree NJ, Shaw NJ, Kirk JM. Body fat estimation using bioelectrical impedance. *Horm Res*. 2007;68(1):8-10.
 43. Wang Z, Heymsfield SB, Chen Z, Zhu S, Pierson RN. Estimation of percentage body fat by dual-energy x-ray absorptiometry: evaluation by in vivo human elemental composition. *Phys Med Biol*. 2010 May 7;55(9):2619-35.
 44. Heymsfield SB, Baumgartner A, Ross R. Evaluation of total and regional body composition. In: Bray G, Bouchard C, James W, editors. *Hand book of obesity*. New York: Marcel Dekker; 1998.
 45. Moore F, Olesen K, McMurray J. *The body cell mass and its supporting environment*. Philadelphia: WB Saunders; 1963.
 46. Woo J, Kwok T, Lau E, Li M, Yu LM. Body composition in Chinese subjects: relationship with age and disease. *Arch Gerontol Geriatr*. 1998 Jan-Feb;26(1):23-32.
 47. Ramirez-Lopez E, Valencia M. Tamaño y Composición corporal en niños mexicanos I: Implicaciones en el uso del BOD POD, DXA y Dilución con Deuterio en la evaluación de la masa grasa y masa libre de grasa. *Respyn*. 2008;9(3).
 48. Durnin JV, Womersley J. 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. *Br J Nutr*. 1974 Jul;32(1):77-97.

-
49. Ávila-Rosas H, Caraveo-Enriquez V, Valdes-Ramos R, Tejero E. Evaluación del estado de nutrición. In: Casanueva E, Kaufer M, Perez-Lizaur AB, Arroyo P, editors. *Nutriología Médica*. 3 ed. México: Ed. Panamericana; 2008. p. 747-84.
 50. Malagon de García C, editor. *Manual de antropometría*. 2a ed. Colombia: Editorial Kinesis; 2004.
 51. Borkan GA, Hults DE, Glynn RJ. Role of longitudinal change and secular trend in age differences in male body dimensions. *Hum Biol*. 1983 Sep;55(3):629-41.
 52. Flynn MA, Nolph GB, Baker AS, Martin WM, Krause G. Total body potassium in aging humans: a longitudinal study. *Am J Clin Nutr*. 1989 Oct;50(4):713-7.
 53. Forbes GB. Lean body mass-body fat interrelationships in humans. *Nutr Rev*. 1987 Aug;45(8):225-31.
 54. Studley H. In: *JAMA*, editor. 1936. p. 458-60.
 55. Galen R, Gambino S, editors. *Beyond normality: the predictive value and efficiency of medical diagnoses*. New York: John Wiley & Sons; 1975.
 56. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc*. 1995 Dec;27(12):1692-7.
 57. Castellano G. *Fisicoquímica*. 3 ed. México: Addison Wesley Longman de México S.A.; 1998.
 58. Fields DA, Goran MI, McCrory MA. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr*. 2002 Mar;75(3):453-67.
 59. Taylor A, Aksoy Y, Scopes JW, du Mont G, Taylor BA. Development of an air displacement method for whole body volume measurement of infants. *J Biomed Eng*. 1985 Jan;7(1):9-17.
 60. Petroni ML, Bertoli S, Maggioni M, Morini P, Battezzati A, Tagliaferri MA, et al. Feasibility of air plethysmography (BOD POD) in morbid obesity: a pilot study. *Acta Diabetol*. 2003 Oct;40 Suppl 1:S59-62.
 61. Moore S, Hall J, Harper S, Lynch J. Global and national socioeconomic disparities in obesity, overweight, and underweight status. *Journal of Obesity*. 2010.
 62. García-García E, Kauffer-Horwitz M, Tusié-Luna M, Calzada-León R, V V-V, Barquera-Cervera S. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Salud Publica Mex*. [artículo especial]. 2008;50(6):530-47.
 63. Casanueva E, Perez-Lizaur AB, Arroyo P. Obesidad en el Adulto. In: Casanueva E, Kaufer M, Perez-Lizaur AB, Arroyo P, editors. *Nutriología Médica*. 3 ed. México D.F.: Panamericana; 2008. p. 350-88.
 64. Olaiz-Fernández G R-DJ, Shamah-Levy T, Rojas R, Villalpando-Hernández S, Hernández-Ávila M, Sepúlveda-Amor J. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública; 2006.
 65. Arroyo P, Fernandez V, Avila-Rosas H. Overweight and hypertension: data from the 1992-1993 Mexican survey. *Hypertension*. 1997 Sep;30(3 Pt 2):646-9.
 66. INEGI. In: Instituto Nacional de Estadística Gel, editor. México 2009.
 67. Lew EA, Garfinkel L. Variations in mortality by weight among 750,000 men and women. *J Chronic Dis*. 1979;32(8):563-76.

-
68. Bray G, Gray D. Obesity. Part I-Pathogenesis. *West J Med.* 1988;149:429-41.
 69. Campbell PT, Jacobs ET, Ulrich CM, Figueiredo JC, Poynter JN, McLaughlin JR, et al. Case-control study of overweight, obesity, and colorectal cancer risk, overall and by tumor microsatellite instability status. *J Natl Cancer Inst.* 2010 Mar 17;102(6):391-400.
 70. Okuda M, Sugiyama S, Kunitsugu I, Hinoda Y, Okuda Y, Shirabe K, et al. Use of body mass index and percentage overweight cutoffs to screen Japanese children and adolescents for obesity-related risk factors. *J Epidemiol.* 2010;20(1):46-53.
 71. Sanchez-Villegas A, Pimenta AM, Beunza JJ, Guillen-Grima F, Toledo E, Martinez-Gonzalez MA. Childhood and young adult overweight/obesity and incidence of depression in the SUN project. *Obesity (Silver Spring).* 2010 Jul;18(7):1443-8.
 72. [The prevalence of eating behavior at persons with overweight and obesity]. *Eksp Klin Gastroenterol.* 2010(6):14-8.
 73. Gill TP. Cardiovascular risk in the Asia-Pacific region from a nutrition and metabolic point of view: abdominal obesity. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2001;10(2):85-9.
 74. Stevens J, Nowicki EM. Body mass index and mortality in asian populations: implications for obesity cut-points. *Nutr Rev.* 2003 Mar;61(3):104-7.
 75. Hernández M, Garrido F, Salazar E. Segas. In: Hernández M, editor. *Epidemiología, Diseño y Análisis de estudios.* México: Editorial Médica Panamericana; 2009. p. 385.
 76. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standardization reference manual: Human Kinetics Books; 1988.*
 77. Heymsfield S, Tighe A, Wang Z. Nutritional assessment by anthropometric and biochemical methods. In: Shils ME, Olson A, Shike M, editors. *Modern nutrition in health and disease.* 8th ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1994. p. 821-41.
 78. Forbes GB, Brown MR, Griffiths HJ. Arm muscle plus bone area: anthropometry and CAT scan compared. *Am J Clin Nutr.* 1988 Jun;47(6):929-31.
 79. Baumgartner RN, Rhyne RL, Garry PJ, Heymsfield SB. Imaging techniques and anatomical body composition in aging. *J Nutr.* 1993 Feb;123(2 Suppl):444-8.
 80. Rolland-Cachera MF, Brambilla P, Manzoni P, Akrouf M, Sironi S, Del Maschio A, et al. Body composition assessed on the basis of arm circumference and triceps skinfold thickness: a new index validated in children by magnetic resonance imaging. *Am J Clin Nutr.* 1997 Jun;65(6):1709-13.
 81. Hernández Rodríguez M. Valoración del estado de nutrición. In: Hernández Rodríguez M, Sastre Gallego A, editors. *Tratado de nutrición: Díaz de Santos; 1999.* p. 601-10.
 82. Deurenberg P, deurenberg-Yap M, Wager J, f I, Schmidt G. Prediction of percentage body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in Singaporean and Beijing Chinese. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2000;9(2):93-8.
 83. Rush EC, Puniani K, Valencia ME, Davies PS, Plank LD. Estimation of body fatness from body mass index and bioelectrical impedance: comparison of New Zealand European, Maori and Pacific Island children. *Eur J Clin Nutr.* 2003 Nov;57(11):1394-401.

-
84. Ramirez E, Valencia ME, Bourges H, Espinosa T, Moya-Camarena SY, Salazar G, et al. Body composition prediction equations based on deuterium oxide dilution method in Mexican children: a national study. *Eur J Clin Nutr.* 2012 Oct;66(10):1099-103.
 85. Aleman-Mateo H, Rush E, Esparza-Romero J, Ferriolli E, Ramirez-Zea M, Bour A, et al. Prediction of fat-free mass by bioelectrical impedance analysis in older adults from developing countries: a cross-validation study using the deuterium dilution method. *J Nutr Health Aging.* 2010 Jun;14(6):418-26.
 86. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr.* 1991 Mar;65(2):105-14.
 87. Smalley KJ, Knerr AN, Kendrick ZV, Colliver JA, Owen OE. Reassessment of body mass indices. *Am J Clin Nutr.* 1990 Sep;52(3):405-8.
 88. Cole T. Weight-stature indices to measure underweight, overweight and obesity. In: Himes JH, editor. *Anthropometric assessment of nutritional status.* New York: Wiley-Liss; 1991.
 89. James WP, Ferro-Luzzi A, Waterlow JC. Definition of chronic energy deficiency in adults. Report of a working party of the International Dietary Energy Consultative Group. *Eur J Clin Nutr.* 1988 Dec;42(12):969-81.
 90. Gallagher D, Visser M, Sepulveda D, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB. How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? *Am J Epidemiol.* 1996 Feb 1;143(3):228-39.
 91. Ellis KJ, Abrams SA, Wong WW. Monitoring childhood obesity: assessment of the weight/height index. *Am J Epidemiol.* 1999 Nov 1;150(9):939-46.
 92. Rookus MA, Burema J, Deurenberg P, Van der Wiel-Wetzels WA. The impact of adjustment of a weight-height index (W/H²) for frame size on the prediction of body fatness. *Br J Nutr.* 1985 Sep;54(2):335-42.
 93. Bharadwaj H, Verma SS, Zachariah T, Kishnani S, Arora BS, Satwanti. Estimation of fat-free mass from stature and X-ray muscle widths at thigh and calf regions in Indian males. *Z Morphol Anthropol.* 1984;75(1):107-11.
 94. Fanelli MT, Kuczmarski RJ, Hirsch M. Estimation of body fat from ultrasound measures of subcutaneous fat and circumferences in obese women. *Int J Obes.* 1988;12(2):125-32.
 95. Boulier A, Fricker J, Thomasset AL, Apfelbaum M. Fat-free mass estimation by the two-electrode impedance method. *Am J Clin Nutr.* 1990 Oct;52(4):581-5.
 96. 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 Jul;61(7):830-6.
 97. Health. NIO. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults. Evidence Report. Washington, D.C.: US Department of Health and Human Services; 1998.
 98. Ramírez-López E, Valencia M. Tamaño y Composición corporal en niños mexicanos I: Implicaciones en el uso del BOD POD, DXA y Dilución con deuterio en la evaluación de la masa grasa y masa libe de grasa. 2008 Jul-Sept;9(3).

99. Ginde S, Geliebter A, Rubiano F, Silva A, Wang J, Heshka S, et al. Air Displacement Plethysmography: Validation in Overweight and Obese Subjects. *Obesity Research*. 2005 Jul;13(7):1232-37.
100. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med*. 1987 Oct 22;317(17):1098.
101. Reading BD, Freeman B. Simple formula for the surface area of the body and a simple model for anthropometry. *Clin Anat*. 2005 Mar;18(2):126-30.
102. Tanaka S, Togashi K, Rankinen T, Perusse L, Leon AS, Rao DC, et al. Is adiposity at normal body weight relevant for cardiovascular disease risk? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002 Feb;26(2):176-83.
103. Despres JP, Prud'homme D, Pouliot MC, Tremblay A, Bouchard C. Estimation of deep abdominal adipose-tissue accumulation from simple anthropometric measurements in men. *Am J Clin Nutr*. 1991 Sep;54(3):471-7.

Anexos

Anexo A

Técnicas de estudio de la composición corporal del organismo: ventajas e inconvenientes

Técnica	Ventajas	Inconvenientes
<p>Densidad</p> <p>Útil para evaluar la composición corporal en un modelo de dos compartimentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Calcula en forma simultánea la masa corporal magra y la grasa <input type="checkbox"/> Inocuo <input type="checkbox"/> Puede repetirse con frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Requiere la cooperación del individuo para determinar el peso bajo el agua <input type="checkbox"/> Inadecuada para niños pequeños y para ancianos <input type="checkbox"/> El gas intestinal y pulmonar provoca errores <input type="checkbox"/> Requiere de un tanque especial
<p>Desplazamiento de aire por pletismografía</p> <p>(BOD POD para adultos y PEA POD para infantes)</p> <p>Mide la composición corporal con un modelo de dos compartimentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No invasiva <input type="checkbox"/> Calcula el volumen indirectamente a partir del volumen de aire desplazado dentro de una cámara cerrada (pletismógrafo) <input type="checkbox"/> Adecuado para niños pequeños, ancianos, embarazadas <input type="checkbox"/> Puede repetirse con relativa frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Equipo costoso y no se poseen patrones de referencia de todas las poblaciones o condiciones fisiológicas
<p>Método de dilución</p> <p>Evalúa la composición corporal y el gasto energético</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Calcula los volúmenes de líquido corporal <input type="checkbox"/> Gran variedad: determina Na, K, Cl (Br), H₂O. <input type="checkbox"/> Utiliza isótopos estables que no representan riesgos para la salud <input type="checkbox"/> Permite medir el gasto energético a lo largo del día sin interferir en la vida del individuo 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Necesidad de muestras de sangre o saliva <input type="checkbox"/> Relativamente invasiva <input type="checkbox"/> Equilibrio incompleto de Na, K <input type="checkbox"/> El análisis de ¹⁸O₂ exige equipos costosos
<p>Recuento de ⁴⁰K</p> <p>Facilita la medición de la masa libre de grasa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Requiere cooperación mínima del individuo 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Se inyecta material radiactivo (⁴⁰K) <input type="checkbox"/> Instrumento costoso <input type="checkbox"/> Necesidad de calibración adecuada <input type="checkbox"/> Problemas en la interpretación en las personas con deficiencia de K
<p>Excreción de creatinina</p> <p>Indicador de recambio de proteína</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No invasiva <input type="checkbox"/> Calcula la masa muscular 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Exige cooperación minuciosa del individuo (recolección de orina de 24h) <input type="checkbox"/> Resulta influida por la dieta <input type="checkbox"/> El momento de la recolección es crítico <input type="checkbox"/> Variaciones de un día para otro 5-10%

Técnica	Ventajas	Inconvenientes
<p>Antropometría (perímetros y espesor de los panículos adiposos)</p> <p>Evalúa la adecuación de las dimensiones corporales (p.ej., peso en relación con la estatura)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Barata <input type="checkbox"/> No invasiva <input type="checkbox"/> Cálculo directo de la grasa corporal y del músculo regional <input type="checkbox"/> Rápidas <input type="checkbox"/> Permiten generar patrones de referencia 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Escasa precisión en individuos obesos y en los que tienen tejido subcutáneo firme <input type="checkbox"/> Variaciones regionales en la capa de grasa subcutánea <input type="checkbox"/> Incertidumbre sobre el cociente grasa subcutánea/grasa total <input type="checkbox"/> No generan puntos de corte universales (variaciones genéticas) <input type="checkbox"/> Requieren de gran capacitación, experiencia y control de calidad <input type="checkbox"/> El equipo no siempre es portátil <input type="checkbox"/> Sólo permiten evaluar crecimiento, bajo peso, sobrepeso y obesidad.
<p>Balance metabólico</p> <p>Permite establecer la relación entre ingreso y excreción de nutrientes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No invasiva <input type="checkbox"/> Adecuada para muchos nutrientes, particularmente útil para vitaminas hidrosolubles y nutrientes inorgánicos (p.ej., nitrógeno) <input type="checkbox"/> Permite buscar pequeños cambios del contenido corporal 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No necesariamente mide formación de nuevo tejido o retención de nutrientes <input type="checkbox"/> Exige la cooperación minuciosa del individuo e interfiere con su independencia <input type="checkbox"/> Sala metabólica costosa <input type="checkbox"/> Errores inducidos por pérdidas cutáneas no valoradas
<p>Tomografía axial computarizada</p> <p>Permite determinar la composición corporal de tres compartimentos (masa ósea, masa grasa y masa magra)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Requiere cooperación mínima del individuo 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Instrumento caro <input type="checkbox"/> Exposición a la radiación <input type="checkbox"/> La inyección del compuesto radiactivo es un procedimiento invasivo
<p>Conductividad eléctrica</p> <p>Utilizada para calcular la masa corporal magra</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No invasiva 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aparato caro
<p>Activación de neutrones</p> <p>Contenido corporal de Ca, P, N, Na, Cl</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Cooperación mínima del individuo 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aparato muy caro <input type="checkbox"/> Calibración difícil <input type="checkbox"/> Exposición a la radiación <input type="checkbox"/> invasiva

Técnica	Ventajas	Inconvenientes
<p>Impedancia bioeléctrica</p> <p>Empleada para calcular la masa corporal magra</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Barata <input type="checkbox"/> No invasiva 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Su precisión varía de acuerdo con el estado de hidratación y la presencia de líquidos corporales (edema o líquido amniótico) <input type="checkbox"/> Solo informa sobre una región del cuerpo <input type="checkbox"/> La confiabilidad depende de las características del instrumento
<p>Resonancia nuclear magnética</p> <p>Permite establecer la dimensión y normalidad de diversos tejidos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Delimita el tamaño de los órganos, el músculo, la grasa y su distribución, así como el agua corporal total 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aparato muy caro <input type="checkbox"/> Invasiva, requiere de la aplicación de medio de contraste radiactivo
<p>Absorciometría fotónica dual</p> <p>Calcula el contenido mineral del hueso, total y regional, la grasa corporal, los tejidos blandos magros</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No invasiva 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Caro <input type="checkbox"/> Exposición a la radiación <input type="checkbox"/> Se carece de patrones de referencia para diferentes poblaciones

Fuente: Ávila-Rosas, 2008

Anexo B

**Resumen de ecuaciones de composición corporal
selectas**

Autor	Año	Edad	Sexo	Variable a predecir	Ecuación Predictiva	Factores de predicción	R ²
Rathurn y Pace	1945	Adulto	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$(5.548/D - 5.044) \times 100$	D	ND
Siri	1956	Adulto	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$(4.95/D - 4.5) \times 100$	D	ND
Brozeck	1963	Adulto	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$(4.57/D - 4.142) \times 100$	D	ND
Deurenberg	1991	< 15 años	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$1.51 \text{ IMC} - 0.70 \text{ E} - 3.6 \text{ S} + 1.4$	IMC, E, S	0.38
Deurenberg	1991	> 15 años	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$1.20 \text{ IMC} + 0.23 \text{ E} - 10.8 \text{ S} - 5.4$	IMC, E, S	0.79
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área de grasa del brazo (cm ²)	$(\text{PeB} \times \text{PIT})/2 - (\text{p} \times \text{PIT}^2)/4$	PeB, PIT	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área de grasa del muslo (cm ²)	$(\text{PeM} \times \text{PIM})/2 - (\text{p} \times \text{PIM}^2)/4$	PeM, PIM	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área de grasa de la pantorrilla (cm ²)	$(\text{PeP} \times \text{PIP})/2 - (\text{p} \times \text{PIP}^2)/4$	PeP, PIP	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área muscular de la pantorrilla (cm ²)	$\text{PeP} - \text{x} (\text{PIP})^2/4\text{p}$	PeP, PIP	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área muscular del muslo (cm ²)	$\text{PeM} - \text{x} (\text{PIM})^2/4\text{p}$	PeM, PIM	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Perímetro muscular del brazo (cm)	$\text{PeB} - \text{x PIT}$	PeB, PIT	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H y M	Área muscular del brazo (cm ²)	$\text{PeB} - \text{x} (\text{PIR})^2/4\text{p}$	PeB, PIR	ND
Heymsfield	1999	Adulto	H	Área muscular del brazo (cm ²)	$[\text{PeB} - \text{x} (\text{PIR})^2/4\text{p}] - 10$	PeB, PIR	ND
Heymsfield	1999	Adulto	M	Área muscular del brazo (cm ²)	$[\text{PeB} - \text{x} (\text{PIR})^2/4\text{p}] - 6.5$	PeB, PIR	ND
Lean y Deurenberg	2000	Adulto	H	Porcentaje de grasa corporal (%)	$0.567 \times \text{PeC} + 0.101 \text{ E} - 31.8$	PeC, E	ND
Lean y Deurenberg	2000	Adulto	M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$0.439 \times \text{PeC} + 0.221 \text{ E} - 9.4$	PeC, E	ND
Deurenberg	2003	Adulto	H y M	Porcentaje de grasa corporal (%)	$1.2 \text{ IMC} + 0.23 \text{ E} - 10.8 \text{ S} - 5.4$	IMC, E, S	ND
Rush	2003	Niños	H y M	Masa Libre de Grasa (kg)	$0.622 (\text{T}^2/\text{Re}) + 0.234 \text{ P} + 1.166$	T, Re, P	0.96
Valencia	2003	> 60 años	H y M	Masa Libre de Grasa (kg)	$- 7.71 + 0.49 * (\text{T}^2/\text{Re}) + 1.12 \text{ G} + 0.27 \text{ P} + 3.49 \text{ S} + 0.13 \text{ T, Re, G, P, S, Xc}$	T, Re, G, P, S, Xc	0.944
Macías-Aleman-Esparza-Valencia	2007	Adulto	H y M	Masa Libre de Grasa (kg)	$0.7374 (\text{T}^2/\text{Re}) + 0.1763 \text{ P} - 0.1773 \text{ E} + 0.1198 \text{ Xc} - 2.465 \text{ T, Re, P, E, Xc}$	PIP, PIB, P, S	0.97
Huerta	2007	> 60 años	H y M	Masa Grasa (kg)	$0.165 \text{ PIP} + 0.355 \text{ PIB} + 0.521 \text{ P} - 6.054 \text{ S} - 13.171$	PIP, PIB, P, S	0.86
Alemán-Mateo	2010	> 60 años	H y M	Masa Libre de Grasa (kg)	$2.95 - 3.89 \text{ S} + 0.514 * (\text{T}^2/\text{Re}) + 0.090 \text{ PeC} + 0.156 \text{ P}$	S, T, Re, PeC, P	0.88

Nota: ND=No disponible; PeB=Perímetro del brazo; PIB=Pliegue del bíceps (mm); PIT=Pliegue del tríceps (cm); PeM=Perímetro del muslo (cm); PIM=Pliegue del muslo (cm); PeP=Perímetro de la pantorrilla (cm);

PeC=Perímetro de cintura (cm); PIP=Pliegue de la pantorrilla (cm); D=Edad (años); IMC=Índice de Masa Corporal (kg/cm²); S=Sexo (0=Mujer, 1=Hombre); T=Estatura (cm); Re=Resistencia (ohms); P=Peso (kg); Xc=Reactancia (ohms); G=Grupo étnico (1=Chile, 2=México, 3=Cuba)

Anexo C

Instrumento de recolección de datos

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Fecha del estudio: Hora:

día mes año

Descanso Evac.vejiga Intestino Ayuno ___ hrs Edema/deshidratación Patología/medicina
 FUR ___/___/___ Fecha nac.último hijo ___/___/___

Presencia Ausencia

DATOS GENERALES

Nombre: _____ Núm. de identificación

Sexo: Femenino Masculino Fecha de Nacimiento: Edad

día mes año años

Lugar de nacimiento: _____ Hidalgo Otro _____

Vive en Hgo: SI NO En caso afirmativo: años Lugar de residencia: _____

DATOS ANTROPOMÉTRICOS

	Primera	Segunda	Promedio	
Estatura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Diametro sagital abdominal (V)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Estatura sentado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circunferencia de muñeca	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circunferencia de abdomen	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circunferencia de pantorrilla	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Longitud ombligo-linea m axilar	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue de tríceps	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue subescapular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Diámetro sagital abdominal (H)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Peso (pletismógrafo)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kg

DATOS DE PLETISMOGRAFIA

Porcentaje de Masa Grasa . % Cantidad de Masa Grasa . kg

Porc. Masa Libre de Grasa . % Cant. Masa Libre Grasa . kg

OBSERVACIONES

Nombre y firma del observador

Anexo D

Tamaño de muestra para estimar el coeficiente de concordancia y correlación.

Para determinar el tamaño de muestra se utiliza la fórmula para calcular el coeficiente de concordancia y correlación, que se basa en la amplitud del intervalo de confianza y el uso de la teoría de los grandes números, a través del teorema del límite central.

Este tamaño de muestra se obtiene para una desviación estándar dada del coeficiente de concordancia y correlación y una diferencia porcentual esperada de su verdadero valor, para un error tipo I y una prueba a dos colas.

$$n = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2} E}{\pi P_c} \right]^2$$

donde:

π = Diferencia porcentual esperada del verdadero valor de $P_c = 1\%$

E = Desviación estándar estimada de $P_c = .05$

$Z_{1-\alpha/2} = 100 (1 - \alpha/2)$ percentil de la distribución normal estándar = 0.05

P_c = Coeficiente de concordancia y correlación mínimo requerido = 0.95

n = Número de mediciones necesarias (con ambos métodos a comparar)

Buscando en tablas que aparecen al final de este anexo, se obtiene un valor para n de 107.

Se ajusta el tamaño de muestra utilizando la fórmula

$$nn = \frac{n}{(1-X)^2}$$

donde:

n = tamaño de muestra estimado sin ajustar = 107

X = proporción de pérdida = 5%

nn = tamaño de muestra ajustado

Sustituyendo los valores se obtiene $n = 119$, de acuerdo al siguiente cálculo:

$$nn = \frac{107}{(1-.05)^2} = 118.5 = 119$$

Se utiliza la fórmula $nn = n / (1-X)^2$, donde nn es el tamaño de muestra ajustado con las pérdidas, n es el tamaño de muestra deseado al final del estudio (107 sujetos) y X (5%) es la proporción de pérdidas constante.

Anexo D

Tamaños de muestra para estimar el coeficiente de concordancia y correlación (P_c) para dos métodos, basados en el valor esperado del P_c , la desviación estándar esperada E y una diferencia porcentual esperada (π) del verdadero valor del P_c ; para diferentes niveles de error tipo I (α) y una prueba a dos colas

P_c	E	α 2-colas	0.01	0.02	π 0.05	0.1	0.15	0.2
0.95	0.03	0.01	67	17	----	----	----	----
			184	46	8	----	----	----
			736	184	30	8	4	----
	0.05		6617	1655	265	67	30	17
	0.1		18379	4595	736	184	82	46
	0.3		73516	18379	2941	736	327	184
	0.5	0.05	39	10	----	----	----	----
	107		27	5	----	----	----	
	426		107	18	5	----	----	
	0.3		38831	958	154	39	18	10
	0.5		10642	2661	426	107	48	27
	1		42567	10642	1703	426	190	106
	0.90	0.03	0.01	74	19	----	----	----
205				52	9	----	----	----
820				205	33	9	4	----
0.05			7372	1843	295	74	33	19
0.1			20478	5120	820	205	92	52
0.3			81911	20478	3277	820	365	205
0.5		0.05	43	11	----	----	----	----
119			30	5	----	----	----	
475			119	19	5	----	----	
0.3			4269	1068	171	43	19	11
0.5			11857	2965	475	119	53	30
1			47428	11857	1898	475	211	119
0.85		0.03	0.01	83	21	4	----	----
	230			58	10	----	----	----
	919			230	37	10	5	----
	0.05		8265	2067	331	83	37	21
	0.1		22958	5740	919	230	103	58
	0.3		91831	22958	3674	919	409	230
	0.5	0.05	48	12	----	----	----	----
	133		34	6	----	----	----	
	532		133	22	6	3	----	
	0.3		4786	1197	192	48	22	12
	0.5		13293	3324	532	133	60	34
	1		53171	13293	2127	532	237	133

Anexo E

Proceso detallado del estudio.

A continuación se describen de manera detallada los pasos seguidos durante el estudio.

Bienvenida

El sujeto llegó por sus propios medios al laboratorio de plicometría en las condiciones previamente acordadas a la fecha y hora indicada. Se le agradeció su interés y se le mostró el laboratorio.

Consentimiento Informado

Se enfatizó el procedimiento general del estudio, la confidencialidad de los datos y la posibilidad de retirarse en cualquier momento durante el estudio. Se cuestionó en cuanto a dudas respecto al documento o a su participación en el estudio. Cuando no hubo dudas se continuó con el proceso, siempre que hubo cuestionamientos se respondieron antes de continuar.

Recolección de datos generales

Con el instrumento de recolección de datos (Anexo C) se inició a realizar la verificación de las condiciones previas al estudio, tales como tiempo de ayuno, descanso, evacuación de intestino y vejiga, evaluación visual de edema o deshidratación. Se le preguntó si reconocía tener alguna enfermedad, si estaba tomando algún medicamento, en caso afirmativo a alguna de las preguntas anteriores, en la sección de observaciones de la hoja se anotó la enfermedad y tiempo de estar enfermo, el nombre del medicamento, tiempo de estar tomándolo y horario de la última toma. En caso de ser mujer se le preguntó la fecha de su última menstruación y si tenía alguna sospecha de embarazo, 2 mujeres tuvieron sospecha por lo que se les proporcionó de forma gratuita una prueba de embarazo que ellas realizaron en las instalaciones sanitarias del mismo edificio con una muestra de orina, ambas salieron negativas, por lo que continuaron participando de manera voluntaria en el estudio.

Una vez validados los criterios de inclusión y exclusión, se les preguntaron datos generales tales como nombre, fecha y lugar de nacimiento, lugar y tiempo de residencia. Se asignó un número consecutivo de 3 dígitos a cada hoja de recolección de datos.

Cambio de ropa antes del estudio

Se les indicó el lugar para cambiarse de ropa, proporcionando ropa adecuada en caso de no contar con ella. La ropa se ofreció limpia y del material adecuado (traje de baño, short de licra, playera de licra). El laboratorio de plicometría (**Figura E.1**) contó durante todo el tiempo del estudio con un área libre de ventanas, con una silla, un tapete lavable, un perchero y un biombo para que el sujeto pudiera cambiarse cómodamente y depositar su ropa y pertenencias mientras se realizó el estudio.



Figura E.1 Laboratorio de plicometría del ICSa de la UAEI.

Mediciones antropométricas

Las medidas fueron tomadas por un solo observador (la investigadora) quién fue entrenada y estandarizada en las mediciones antropométricas seleccionadas. No contó con anotador.

Las mediciones antropométricas que se realizaron así como la técnica e instrumental utilizados en cada una se detallan a continuación y fueron tomadas en ese orden. Sólo en

caso de duda se realizaron las medidas por duplicado, anotándose en el recuadro de observaciones del formato de recolección de datos.

Estatura

La estatura fue medida con un estadiómetro con precisión milimétrica (Seca, Hamburgo Alemania). Al sujeto se le pidió estar en posición de atención antropométrica, también conocida como postura estándar erecta o posición de pie, estar descalzo con el peso del cuerpo distribuido en forma pareja sobre ambos pies, los talones y rodillas juntas. Las puntas de los pies separadas levemente en un ángulo de 60° . El dorso estirado y los brazos a los lados, relajados. La cabeza, los omóplatos, las nalgas y los talones en contacto con el plano vertical de la pared (cuatro puntos de contacto). Se solicitó usar ropa ligera con la finalidad de observar mejor la colocación del cuerpo. Se consideró la horizontalidad del plano de Frankfort (línea imaginaria del borde orbitario inferior en el mismo plano horizontal que el conducto auditivo externo como se muestra en la **Figura E.2**).

El instrumento se descendió suavemente aplastando el cabello y haciendo contacto con el vértice del cráneo, ver **Figura E.3**. Se registró la medida hasta el 0.5 más próximo. En caso de traer el cabello sujeto, se solicitó soltarlo.

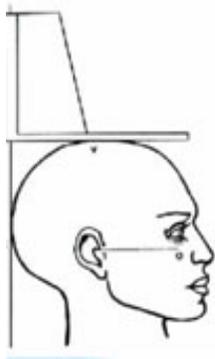


Figura E.2 Plano de Frankfort, posición de la cabeza



Figura E.3 Medición de la estatura

Diámetro Sagital abdominal tomado en posición vertical

El diámetro sagital abdominal en posición vertical fue tomado con un antropómetro metálico que tiene una parte deslizante con graduación milimétrica. Se le solicitó al evaluado estar de pie en posición de atención antropométrica y descalzo con el peso del cuerpo distribuido en forma pareja sobre ambos pies, los talones y rodillas juntas. Las puntas de los pies separadas levemente en un ángulo de 60°. El dorso estirado y los brazos cruzados y las palmas sobre los hombros relajados. Se usó ropa ligera con la finalidad de observar mejor la colocación del instrumento. La medición se realizó estando a la derecha del sujeto. El antropómetro se colocó en el nivel del ombligo (omblijo) manteniendo la horizontalidad y se recorrió hasta el punto en donde hace contacto con el plano vertical. La presión ejercida fue leve evitando la compresión de los tejidos. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.

Estatuta Sentado

La estatura del evaluado en posición sentado está comprendida por la longitud del tronco, del cuello y de la cabeza. Fue medida con un estadiómetro con precisión milimétrica (Seca, Hamburgo Alemania) y se utilizó un banco con altura fija estándar de 42 cm. Se midió al sujeto sentado sobre el banco, en posición erecta con la cabeza en plano de Frankfort, descalzo o utilizando calzado sin tacón ni plataforma y los muslos en posición horizontal ver **Figura E.4**.

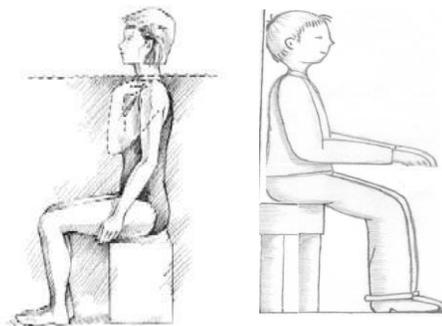


Figura E.4 Estatura sentado

Las piernas colgaron libremente sobre el extremo de la superficie del asiento. Se cuidó que existiera un ángulo recto entre la espalda del sujeto (tronco) y los muslos (**Figura E.5**). También se cuidó la existencia de un ángulo recto entre los muslos y las piernas. Se le pidió al sujeto que coloque las palmas de sus manos sobre sus rodillas. El estadiómetro se descendió suavemente aplastando el cabello y haciendo contacto con el vértice del cráneo. Se registró la medida hasta el 0.5 más próximo.



Figura E.5 Medida de la talla sentado

Circunferencia de muñeca

La circunferencia de muñeca fue tomada con una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá). El evaluador se paró frente al sujeto, quien se encontraba de pie en posición de atención antropométrica, se le pidió que colocara el brazo extendido hacia abajo formando un ángulo de 45° entre el cuerpo y el brazo, con la palma hacia arriba. En seguida se colocó la cinta distal al proceso estilolde del radio y la ulna. Para ubicar este sitio es necesario palpar el área con los dedos índice y medio. La cinta quedó perpendicular al eje del antebrazo (**Figura E.6**). La medición se realizó sobre la piel alrededor de toda la circunferencia de la muñeca cuidando de no comprimir el tejido suave. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.



Figura E.6 Circunferencia de muñeca

Circunferencia de abdomen

La circunferencia de abdomen fue tomada con una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá). Al evaluado se le solicitó estar de pie en posición de atención antropométrica, el evaluador se paró frente al sujeto. La cinta fue pasada alrededor del tronco en el nivel del ombligo (ombbligo) manteniendo la horizontalidad (**Figura E.7**). La presión ejercida fue leve a efecto de evitar la compresión de los tejidos. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.

La definición de esta dimensión está en correspondencia con el punto somatométrico tomado como referencia, que en este caso fue el de la cicatriz umbilical (onfalio).



Figura E.7 Circunferencia abdominal

Longitud de la cicatriz umbilical al plano axilar medio.

Fue tomada con una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá). El evaluado estuvo de pie en posición de atención antropométrica y descalzo con el peso del cuerpo distribuido en forma pareja sobre ambos pies, los talones y rodillas juntas. Las puntas de los pies separadas levemente en un ángulo de 60°. El dorso estirado y los brazos cruzados y las palmas sobre los hombros relajados. Usó ropa ligera con la finalidad de que se observara mejor la colocación del cuerpo. El evaluador que se paró a la derecha del sujeto. Se solicitó al sujeto que levantara el brazo derecho y se proceder a marcar de manera vertical del punto medio de la axila en dirección a la cresta iliaca.

En seguida se colocó la cinta en el nivel del ombligo manteniendo la horizontalidad y se corrió hasta el punto en donde hace contacto con el punto axilar medio (**Figura E.8**). La presión ejercida fue leve para evitar la compresión de los tejidos. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.



Figura E.8 Longitud del ombligo a la línea axilar media

Pliegue de tríceps

El pliegue cutáneo que corresponde al espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo a la altura del tríceps, se midió con un plicómetro que aproxima a milímetros marca Harpenden y que tiene presión constante de $10\text{g}/\text{mm}^2$. Antes de medir el pliegue cutáneo del tríceps se determinó el punto medio del brazo del evaluado (punto

mesobraquial) con el sujeto de pie en posición de atención antropométrica con el brazo y el hombro descubiertos, con el antebrazo derecho flexionado en ángulo recto con relación al brazo; se utilizó una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá), y se midió la distancia entre el acromion (vértice posterior de la apófisis acromial del omóplato) y el olecranon del codo a lo largo de la parte posterior de él y luego se marcó una línea recta horizontal en el punto correspondiente a la mitad de la distancia formando un ángulo recto. El evaluador realizó esta marca estando del lado derecho del evaluado rodeando el brazo con la cinta métrica pasando por el punto medio. Se le solicitó al evaluado que mantuviera el brazo colgando lateral y libremente sobre el costado, de manera que el evaluador ubicó el pliegue del tríceps que está en la parte posterior del brazo derecho sobre el músculo del tríceps. El pliegue es vertical (**Figura E.9**).



Figura 6.9 Pliegue de tríceps

El plicómetro se calibró en cero, el evaluador se paró detrás del evaluado para localizar el pliegue con su mano izquierda. Colocó el índice y el pulgar en forma vertical en la distancia media entre la cresta y la base del pliegue (para tomar el pliegue los dedos tenían una distancia de 2 cm. entre sí, la cual se ajustó para acomodar el pliegue de grasa). Se levantó suavemente el pliegue de grasa lo suficiente para sentirlo con la yemas de los dedos y separarlo del tejido subyacente. Se mantuvo la presión sobre el pliegue una vez que la medida fue tomada. Se colocó el plicómetro un centímetro debajo de la posición de los

dedos. La lectura se hizo entre tres y cinco segundos a partir del momento en que se aplicó la presión del plicómetro y se observó que la aguja decreció un poco; se buscó que la presión sobre el pliegue fuera ejercida por el plicómetro y no por los dedos. Se retiró primero el plicómetro y posteriormente se soltó el pliegue de grasa. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.

Pliegue subescapular

El pliegue cutáneo que corresponde al espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en el aspecto posterior del torso, se midió con un plicómetro que aproxima a milímetros marca Harpenden y que tiene presión constante de 10g/mm^2 . Antes de medir el pliegue cutáneo subescapular se localizó mediante la palpación de la escápula, lo cual se hizo con el sujeto de pie en posición de atención antropométrica con la espalda descubierta, mediante la abducción del brazo derecho lo que obligó a levantar la escápula y palpase fácilmente el borde vertebral; se utilizó una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá) para medir un centímetro de distancia entre el ángulo inferior extremo de la escápula derecha y marcar en ese punto una línea recta en diagonal (ángulo de 45°), siguiendo las líneas de clivaje de la piel. El evaluador realizó esta marca estando del lado derecho del evaluado. Se le solicitó al evaluado que mantuviera el brazo colgando lateral y libremente sobre el costado, de manera que el evaluador ubicó el pliegue subescapular. El pliegue se hizo en diagonal. El plicómetro se calibró en cero, el evaluador se colocó detrás del evaluado para mayor facilidad al localizar el pliegue con su mano izquierda. Colocó el índice y el pulgar en forma vertical por debajo del ángulo inferior de la escápula; el pulgar debajo y el índice por encima. Se pellizcó suave pero firmemente un pliegue de grasa; el pliegue formó un ángulo aproximado de 45° con la línea horizontal y la ascendente hacia la línea media del cuerpo. Se levantó suavemente el pliegue de grasa lo suficiente para sentirlo con la yemas de los dedos y separarlo del tejido subyacente. Se mantuvo la presión sobre el pliegue una vez que la medida fue tomada (**Figura E.10**). Se colocó el plicómetro un centímetro debajo de la posición de los dedos. La lectura se hizo después de tres segundos a partir del momento en que se aplicó la

presión del plicómetro y se observó que la aguja decreció un poco; la presión sobre el pliegue fue ejercida por el plicómetro y no por los dedos. Se retiró primero el plicómetro y posteriormente se soltó el pliegue de grasa. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica de 0.1 mm.



Figura E.10 Pliegue subescapular

Diámetro Sagital abdominal tomado en posición horizontal

El diámetro sagital abdominal en posición horizontal fue tomado con un antropómetro metálico que tiene una parte deslizable con graduación milimétrica. El evaluado estuvo en posición decúbito supino sobre una mesa de exploración, se encontró con el peso del cuerpo distribuido en forma pareja sobre ambos costados, las extremidades inferiores extendidas con pies en flexión neutra y punta de los dedos gordos hacia arriba, con el dorso estirado y los brazos cruzados y las palmas sobre los hombros relajados. La cabeza, los omóplatos, las nalgas y los talones en contacto con el plano vertical de la mesa de exploración (cuatro puntos de contacto). El evaluado uso ropa ligera y el evaluador se colocó a la derecha del sujeto para tomar la medición. Se introdujo el antropómetro por debajo del cuerpo del evaluado entre la mesa de exploración y su cuerpo a la altura del ombligo. La parte graduada como se ve en la **Figura E.11** se corrió hasta que hizo contacto con el abdomen del evaluado sin ejercer presión y se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica. Esta medida se tomo por triplicado variando en cada una la cantidad de aire inhalada, en la primera se hizo con la respiración normal una vez que estuvo estable,

en la segunda se le pidió al sujeto que inhalara profundamente y se mantuviera así mientras se hizo la medición y en la tercera se le pidió que exhalara profundamente y se tomó la medición.



Figura 6.11 Diámetro sagital abdominal

Circunferencia de pantorrilla

La circunferencia de pantorrilla fue tomada con una cinta antropométrica de material metálico (Rosscraft innovations incorporated, Canadá). El evaluado estuvo sentado sobre una mesa de exploración con las piernas colgando libremente. El evaluador se colocó del lado derecho del sujeto sentado para tener mejor posición al tomar la medida, con la cinta rodeó la zona de máximo volumen manteniendo la horizontalidad y formando un plano que es perpendicular al eje longitudinal de la pierna; para ello movió la cinta hacia arriba y hacia abajo para encontrar el valor máximo (**Figura E.12**). Se registró el máximo valor. La presión ejercida fue leve para evitar la compresión de los tejidos. Se registró la medida en centímetros con precisión milimétrica.



Figura 6.12 Circunferencia de pantorrilla

Masa Corporal Total (referida comúnmente como peso)

La masa corporal fue medida con la báscula electrónica de exactitud cercana a 0.01 kg (Tanita Corp. Tokyo, Japan), conectada al BOD POD.

La báscula estuvo colocada sobre una superficie plana y firme, se calibró la balanza regularmente (cada 10 mediciones) para ello se verificó que estuviera totalmente horizontal respecto a la superficie (piso) y se ejecutaron los procedimientos de calibración propios del software del BOD POD.

Se solicitó al evaluado que se colocara en el centro de la balanza en posición de atención antropométrica y permaneciera quieto, se cuidó que vistiera ropa ligera y estuviera descalzo con el peso corporal distribuido en ambos pies, sin tener contacto externo con ningún objeto a su alrededor, con los brazos relajados y paralelos al cuerpo, mirada al frente y la cabeza en posición de Frankfort (**Figura E.13**). Se registró la medida en kilogramos con precisión de gramos.



Figura E.13 Medida de la Masa Corporal Total

Pletismografía por desplazamiento de aire

El volumen, la densidad y la composición corporal calculada a partir del modelo de dos compartimentos (masa grasa y masa libre de grasa) fueron obtenidas por la técnica de

pletismografía por desplazamiento de aire utilizando el equipo BOD POD que es un pletismógrafo manufacturado por Body Composition System, life Measurement Instruments, Concord, CA.

El equipo se calibró dos veces, la primera con el equipo vacío y la segunda utilizando un cilindro de 50L en cada medición. El volumen de aire torácico fue estimado en todos los casos y la ecuación para determinar el porcentaje de grasa corporal fue la de Brozek. Todas las mediciones y calibración del equipo fueron realizadas siguiendo las indicaciones del proveedor del equipo para su uso y funcionamiento correcto.

A los evaluados se les solicitó estar descalzos, sin accesorios y utilizando un traje de baño entallado y una gorra para el cabello de material acrílico o en su defecto ropa interior ajustada al cuerpo (no bóxers o fondos) o ropa de licra ajustada como short o playera (**Figura E.14**). Antes de introducirse a la cámara, se le explicó al evaluado de manera general en qué consistiría la prueba, haciendo énfasis en que la prueba se debe realizar por duplicado por procedimiento propio del equipo, por lo que se le solicitó permaneciera quieto entre ambas mediciones, que se dijo que el tiempo que debería permanecer con la cámara cerrada son segundos y se le mostró el botón de pánico que se encuentra dentro de la cámara en caso de que tuviera necesidad de utilizarlo.

Se le solicitó al evaluado que se introdujera en la cámara sentado con la espalda haciendo el mayor contacto con el respaldo del asiento del BOD POD, las plantas de los pies (en caso de que las dimensiones del sujeto lo permitan) estuvieron haciendo contacto totalmente con el piso de la cámara, las palmas de las manos estuvieron recargadas sobre las rodillas, la mirada estará dirigida hacia el frente y pudo tener contacto visual con el exterior a través de la ventana de la cámara que queda enfrente del sujeto a la altura de la cara (**Figura E.15**). Se le dieron indicaciones respecto a la importancia de mantener la respiración normal y permanecer quieto, con la finalidad de que no se produjera una inconsistencia y hubiera necesidad de realizar nuevamente la medición.



Figura 6.34 Introducción al Bod Pod



Figura 6.15 Posición dentro del Bod Pod

Cambio de ropa al final del estudio

Al finalizar las mediciones, se le solicitó que se cambiara la ropa del estudio por su ropa de calle. En caso de que la ropa utilizada por ese sujeto para el estudio fuera facilitada por el evaluador, se le solicitó depositarla en una bolsa plástica, para proceder a lavarla antes de otro estudio.

Entrega de resultados y despedida

Mientras el sujeto se cambia de ropa, se completó la forma de resultados de la **Figura E.16** con los datos obtenidos del estudio, de igual manera, se seleccionó el nivel de riesgo en el que se encuentra de acuerdo a sus resultados.

Se le explicaron los resultados de su estudio y se le comentó del nivel de riesgo en el que se encontró, también se le dio un folleto con recomendaciones generales en cuanto hábitos dietéticos para tener un estilo de vida saludable. Finalmente se les agradeció su participación en el estudio.

 	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN																
Pachuca, Hidalgo a ____ de _____ de 2011. _____, cuya edad es de ____ años, quien decidió participar de manera voluntaria en el trabajo de investigación titulado « Validación de una ecuación basada en antropometría para estimar la composición corporal en adultos en situación de sobrepeso u obesidad » obtuvo de la evaluación antropométrica y del estudio de pletismografía por desplazamiento de aire los siguientes																	
R e s u l t a d o s :																	
Estatura: _____ m Circunferencia de cintura: _____ cm Peso corporal: _____ kg Porcentaje de Grasa Corporal: _____ % IMC: _____ kg/m ²	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><u>Valores recomendados</u></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Circunferencia de Cintura</td> </tr> <tr> <td>Hombres < 102</td> <td>Mujeres < 88</td> </tr> <tr> <td colspan="2">%Grasa Corporal</td> </tr> <tr> <td>Hombres entre</td> <td>13% - 17%</td> </tr> <tr> <td>Mujeres entre</td> <td>20% - 27%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">IMC</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hombres y mujeres entre 18.5 -25</td> </tr> </table>	<u>Valores recomendados</u>		Circunferencia de Cintura		Hombres < 102	Mujeres < 88	%Grasa Corporal		Hombres entre	13% - 17%	Mujeres entre	20% - 27%	IMC		Hombres y mujeres entre 18.5 -25	
<u>Valores recomendados</u>																	
Circunferencia de Cintura																	
Hombres < 102	Mujeres < 88																
%Grasa Corporal																	
Hombres entre	13% - 17%																
Mujeres entre	20% - 27%																
IMC																	
Hombres y mujeres entre 18.5 -25																	
De acuerdo a la clasificación de organismos internacionales adoptada en México, su riesgo de padecer diabetes tipo 2, hipertensión y/o enfermedad cardiovascular en relación al peso normal y la circunferencia de cintura es:																	
Aumentado <input type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Muy alto <input type="checkbox"/> Extremadamente alto <input type="checkbox"/>																	
Dada su complejión _____, su peso saludable es de _____ kg.																	
_____ LN. Lilia Virginia Castro Porras Responsable de la investigación																	

Figura E.16 Formato de resultados

Anexo F

Análisis detallado de los datos.

Limpieza de datos

La limpieza es una actividad que permite garantizar que el conjunto de datos que se utilizarán para el análisis sea correcto y exacto. Se realizó esta actividad manualmente a partir de la revisión de las formas de recolección de datos, identificando si hubo errores tipográficos, de ortografía, incompletos, duplicados o incoherentes haciendo un comparativo de los datos con la operacionalización de las variables y verificando consistencia en ellos.

Captura de datos

La captura de datos se llevó a cabo en el orden en que se recopilaron, tanto por el número de folio como dentro de cada forma el orden de los datos. Posterior a la captura se crearon las fórmulas para las variables que proceden de cálculos como el Índice de Masa Corporal (IMC), Índice de Conicidad (IC) y complexión (C) descritas en el Anexo F “Definición y Operacionalización de las Variables”.

Identificación de valores extremos

Se hizo el “Test de Grubbs” para identificar valores extremos (outliers), uno de los supuestos de la prueba es que los datos tienen una distribución aproximadamente normal. La prueba define la hipótesis nula como que no existen valores extremos en el conjunto de datos y la hipótesis alternativa como que existe al menos un valor extremo en el conjunto de datos. El estadístico de prueba de Grubbs se define como:

$$G = \frac{\max_{i=1,\dots,N} |Y_i - \bar{Y}|}{S}$$

donde \bar{Y} es la media muestral y

S es la desviación estándar.

Formación de las submuestras

Se formaron dos submuestras usando técnica de muestreo aleatorio simple considerando dos estratos a partir de la variable sexo.

Análisis descriptivo

Se obtuvieron los datos de media, mediana, moda, desviación estándar de cada variable de la muestra total, la muestra total separado por la variable sexo y de las submuestras para derivar la ecuación y para validarla.

Análisis univariado y bivariado

Normalidad

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para validar el comportamiento normal de las variables continuas, aceptando como variable con distribución normal aquellas cuya probabilidad (p) sea > 0.05 .

Curtosis y asimetría

Se hizo el análisis de la curtosis y asimetría, ya que el coeficiente de curtosis es una medida de concentración de la distribución en torno a la media. Si la variable sigue una distribución normal, su valor de curtosis será cero. Valores mayores a cero, indican que la distribución tiende a concentrarse en torno a la media más que en una distribución Normal; mientras que valores menores que cero, indican que tienden a dispersarse más.

El coeficiente de simetría como su nombre lo indica es una medida de la distribución de los valores respecto a la media. Si la distribución de la variable es simétrica, su valor es igual a cero. Valores mayores que cero, indican que las desviaciones a la media son mayores para los valores superiores a la media que para los valores inferiores; mientras que valores menores que cero indican que las desviaciones a la media son mayores para los valores inferiores a la media que para los valores superiores (104).

Homogeneidad de varianzas

Se realizó la prueba de Levene para la homogeneidad de las varianzas de las variables del estudio en los grupos establecidos por sexo (hombres y mujeres) en la submuestra para el modelo. Cuando existen dos o más grupos de población que se desea comparar y las varianzas son iguales, se puede considerar que la fuente de error es la misma, en caso contrario, si son desiguales, se tiene la probabilidad de que otra fuente desconocida de error en alguna de las muestras intervenga desfavorablemente en los resultados del análisis estadístico. La prueba es aceptada si el nivel de significancia es mayor que 0.05, dándose por cierta la hipótesis nula, es decir, que las varianzas no tienen diferencia significativa entre los grupos y que las diferencias observadas entre las varianzas se debe al azar; por lo tanto, son iguales y la fuente de error probablemente es la misma.

Análisis de Correlación

Se analizó la asociación entre el IMC y el porcentaje de grasa a través de un análisis de correlación de Pearson y se observó tendencia.

Se hizo el análisis de correlaciones entre las variables independientes e independientes con la finalidad de conocer qué variables independientes presentaban una mayor asociación con alguna de las variables dependientes o con ambas. Para ello se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson para las variables independientes eligiendo las variables que obtuvieron el coeficiente de determinación más alto ≥ 0.70 . El coeficiente de determinación calculado como el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson. Adicionalmente,

para aquellas variables con coeficiente de determinación ≥ 0.8 , se calculó el Factor de Inflación de la varianza (VIF por sus siglas en inglés “variance inflation factor”). A medida que es mayor la multicolinealidad presente en uno de los regresores del modelo, la varianza de su coeficiente comienza a crecer porque el denominador se hace más chico. Es decir, la multicolinealidad “infla” la varianza del coeficiente. De esta manera, el VIF queda expresado como:

$$VIF_p = \frac{1}{1 - R_{X_p}^2}$$

Al inverso del VIF se le define como tolerancia.

El VIF toma valores entre un mínimo de 1 cuando no hay grado de multicolinealidad y no tiene límite superior por definición en el caso de multicolinealidad perfecta. Como regla de uso generalizado se considera que la multicolinealidad es alta cuando el $VIF \geq 5$.

Se analizó la multicolinealidad de las variables seleccionadas, cuando dos variables explicativas dieron una correlación alta de cuasicolinealidad, se eliminó alguna tomando como criterio el que fuese más difícil realizarlo en el campo. La eliminación se hizo para evitar estimaciones inestables de los coeficientes.

Análisis de regresión lineal simple

Se realizaron varias regresiones del tipo lineal múltiple considerando a la variable masa libre de grasa como variable dependiente y se incluyeron en cada ejecución diferentes variables por lo que se obtuvieron diversas ecuaciones de predicción, seleccionando los de mayor coeficiente de determinación y menor error cuadrático medio

Análisis multivariado

Análisis de componentes principales

Se realizó el análisis de componentes principales con la finalidad de reducir el número de variables de estudio.

Análisis de regresión múltiple

Se aplicaron los métodos de selección siguientes:

1. Introducir
2. Pasos sucesivos
3. Eliminar
4. Pasos hacia atrás
5. Pasos hacia adelante

Se seleccionaron las ecuaciones que arrojaron coeficiente de determinación R^2 más alto y un error cuadrático medio más bajo. El coeficiente de determinación es calculado como el cuadrado del coeficiente de correlación, varía entre 0 y 1. Generalmente se acepta $R^2 \geq 0.7$ como indicador de una buena asociación entre las variables, por lo que las variables independiente pueden usarse para predecir a la variable dependiente.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Análisis de validación

El coeficiente de determinación de la ecuación de predicción resultante, nos indica el grado en el que las variables independientes pueden explicar a la variable dependiente, pero hace falta realizar algunas pruebas adicionales de concordancia para validar que dicha ecuación

es confiable y que pudiera reemplazar con cierto nivel de confianza al método considerado estándar de oro.

Gráfica convencional

Se graficó de manera convencional los kilogramos de masa libre de grasa obtenidos del estudio de pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD) y los obtenidos por cada una de las ecuaciones.

Coefficiente de correlación de Pearson

La hipótesis nula cuando se usa el coeficiente de correlación es que no existe relación lineal entre los dos métodos. Se cuantificó el grado de relación lineal entre los dos métodos a través del coeficiente de correlación de Pearson, cuya fórmula es la siguiente:

$$r = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB}$$

Donde:

A= desviación estándar del método A

B= desviación estándar del método B

C= desviación estándar de la diferencia entre los métodos A y B

Es importante resaltar que el hallazgo de correlaciones altas entre los métodos evaluados no necesariamente significa que los dos métodos tengan concordancia, ya que en la fórmula no se incluye la diferencia promedio de los dos métodos.

Coefficiente de determinación ajustado

Este coeficiente es una variante del R^2 y que a diferencia de éste no aumenta necesariamente al incluir una variable adicional en el modelo. Se basa en el número de casos y de variables independientes. Se calcula de la siguiente forma:

$$R^2_{\text{corregida}} = R^2 - [p(1 - R^2)/(n - p - 1)]$$

Donde p es el número de variables independientes.

En una situación de pocos casos y muchas variables independientes, R^2 puede ser artificialmente alta. En ese caso, el valor de R^2 corregida será sustancialmente más bajo que el de R^2 .

El coeficiente Cp de Mallows

A medida que aumenta el número de variables de factor pronóstico en una ecuación, se incrementa el valor de R^2 , el cual se aproxima a 1.0, y disminuyen los valores del error de la raíz de la media de los cuadrados. La velocidad a la que mejora la R^2 y los valores del error de la raíz de la media de los cuadrados, disminuye a medida que el número de variables de factor pronóstico aumenta. Sin embargo, si en la ecuación hay muy pocas variables de factor pronóstico, entonces puede ocurrir sesgo en la predicción. Si existen demasiados factores de predicción en la ecuación, la probabilidad de multicolinealidad aumenta. El índice estadístico Cp de Mallows es un índice del número adecuado de variables de factor pronóstico en una ecuación. La ecuación con el valor Cp mínimo tendrá el valor máximo de R^2 y los valores mínimos del error de la raíz de la media de los cuadrados y, por lo tanto, un sesgo y multicolinealidad mínimos.

Se calculó el coeficiente de Mallows que permite seleccionar el mejor modelo y toma en cuenta el sesgo en la selección del modelo, el coeficiente o estadístico C_p de Mallows es definido como,

$$C_p = \frac{SSE_p}{S^2} - N + 2P,$$

Donde

$$SSE_p = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{pi})^2 ; Y_i \text{ es el valor real y } Y_{pi} \text{ es el valor estimado}$$

S^2 es el cuadrado de las medias de los residuales

N es el tamaño de la muestra

P es el número de variables de factor pronóstico o regresores

Prueba t pareada

El modelo se probó con la submuestra para validación compuesta por 51 sujetos (24 hombres y 27 mujeres), los resultados fueron analizados con herramientas de análisis de regresión simple para comparar la masa libre de grasa estimada por el BOD POD y la masa libre de grasa estimada por el modelo propuesto. La hipótesis de esta prueba es que el promedio de la diferencia entre los resultados obtenidos por el método A y B es cero. Estima la concordancia entre los dos métodos, pero no proporciona información acerca de la concordancia en los individuos. Para calcularla se utiliza la fórmula siguiente:

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{C}{\sqrt{n}}}$$

Donde

\bar{d} es el promedio de las diferencias entre los dos métodos

C es la desviación estándar de las diferencias entre los dos métodos

n es el número de observaciones

Las diferencias entre los resultados obtenidos por el modelo y el BOD POD se examinaron utilizando prueba de t de Student pareada con una $p < 0.05$.

Análisis del error puro

Se analizó el error puro y se comparó con la raíz cuadrada del error del promedio de las diferencias al cuadrado (RMSE, por sus siglas en inglés), aunque son similares en concepto pueden diferir numéricamente. Entre más pequeño sea el error puro, más exacta la ecuación cuando se aplique a una muestra independiente.

Los errores puro y RMSE se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\text{Error puro} = \frac{\sqrt{\sum (Y_i - Y_o)^2}}{n_v} \qquad \text{RMSE} = \sqrt{\sum (Y_i - Y_o)^2 / n_m}$$

Donde:

Y_i es el valor predicho y Y_o es el valor observado

N_v es el tamaño de muestra utilizada para construir la ecuación de predicción

N_m es el tamaño de muestra utilizada para validar

Análisis de residuos

Se revisó la homocedasticidad del modelo a partir de prueba de gráfico de los residuales. Se pretendió identificar valores aberrantes en caso de haberlos y si el comportamiento del modelo sigue una tendencia lineal.

Análisis de concordancia

Se realizó el análisis de Bland Altman para determinar nivel de exactitud, precisión, sesgo y concordancia. En este análisis se grafica en el eje de las X la dispersión que muestra la relación entre los valores medios de la medición realizada con el estándar de oro (BOD POD en este trabajo) y la ecuación de predicción resultante y en el eje de las Y los valores de las diferencias en las mediciones de las mismas, acotándolas entre +/- 2 desviaciones estándar sobre el eje de las Y. La hipótesis es que si el error se distribuye aleatoriamente dentro de los límites de confiabilidad, entonces se dice que la ecuación es confiable.

Coefficiente de concordancia y correlación (P_c)

Se determinó el coeficiente de concordancia y correlación, el cual combina dos dimensiones, precisión y exactitud. Determina cuánto se desvían de la línea de perfecta concordancia de 45 grados y que se inicia en (0,0), los datos obtenidos por los dos métodos así como cuan dispersos están los datos en relación con la línea de perfecta concordancia. Para medirlo se utiliza la fórmula:

$$P_c = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{A^2 + B^2 + D^2}$$

Donde:

A= desviación estándar del método A

B= desviación estándar del método B

C= desviación estándar de la diferencia entre los métodos A y B

d= Diferencia del promedio de los dos métodos

El Pc tiene un rango de -1 a +1. Cuanto más alta sea la concordancia , mayor será el valor del coeficiente; si hay una concordancia directa perfecta, será de +1.0 y si la concordancia es inversa, también perfecta, será de -1.0.

Validez y precisión

Todas las medidas antropométricas fueron realizadas por el mismo observador. Cuando se realizaron medidas por duplicado en un sujeto de estudio, se consideró el promedio de ambas mediciones

Sensibilidad y Especificidad

La sensibilidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo enfermo, es decir, la probabilidad de que para un sujeto enfermo se obtenga en la prueba un resultado positivo. La sensibilidad es, por lo tanto, la capacidad del test para detectar la enfermedad.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{VerdaderosPositivos}}{\text{VerdaderosPositivos} + \text{FalsosNegativos}}$$

La especificidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo sano, es decir, la probabilidad de que para un sujeto sano se obtenga un resultado negativo. En otras palabras, se puede definir la especificidad como la capacidad para detectar a los sanos.

$$\text{Especificidad} = \frac{\text{VerdaderosNegativos}}{\text{VerdaderosNegativos} + \text{FalsosPositivos}}$$

Anexo G

Descripción y Operacionalización de las variables.

Variable	Definición Conceptual	Escala de medición	Definición Operacional	Fuente
Masa grasa corporal Variable Dependiente	Es la cantidad de tejido adiposo que constituye a un sujeto.	Kg con precisión de 100 g	Estimación de la cantidad de grasa que posee un individuo en un momento dado a partir del estudio con el BOD POD o de la ecuación.	Pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD) y modelo matemático resultante del estudio.
Masa Corporal Libre de grasa Variable Dependiente	Es la cantidad de tejido no adiposo que constituye a un sujeto.	Kg con precisión de 100 g	Estimación de la cantidad de masa no grasa que posee un individuo en un momento dado a partir del estudio con el BOD POD o de la ecuación.	Pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD) y modelo matemático resultante del estudio.
Sexo	Condición orgánica masculina o femenina de los seres humanos.	Masculino o femenino	Pregunta directa a través de cuestionario y observación. Para codificar 0: Femenino y 1: Masculino	Observación.
Edad	Tiempo de vida desde el nacimiento hasta el momento actual.	Años cumplidos	Cálculo de la fecha de nacimiento respecto a la fecha del estudio.	Pregunta directa de fecha de nacimiento a través de cuestionario.
Estatura	Altura medida en un sujeto desde los pies hasta la cabeza con el sujeto de pie.	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición hecha con el estadiómetro calibrado de precisión milimétrica marca SECA.	Medición directa del evaluado.
Estatura sentado	Altura medida en un sujeto sentado que considera el tronco, el cuello y la cabeza.	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición hecha con el estadiómetro calibrado de precisión milimétrica marca SECA.	Medición directa del evaluado.
Circunferencia de muñeca	Es la medida del contorno de la muñeca de la mano derecha del sujeto evaluado.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA).	Medición directa del evaluado.
Circunferencia de abdomen	Es la medida del contorno de un sujeto a la altura del ombligo (cicatriz umbilical)	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA), el sujeto estará de pie.	Medición directa del evaluado.
Longitud de la cicatriz umbilical a la línea axilar media	Es la medida horizontal del del ombligo (cicatriz umbilical) a la línea axilar media del sujeto de pie.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA), el sujeto estará de pie.	Medición directa del evaluado.

Variable	Definición Conceptual	Escala de medición	Definición Operacional	Fuente
Diámetro sagital abdominal en posición vertical	Es la medida horizontal del ombligo hasta el plano vertical realizada con el sujeto de pie.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA), el sujeto estará de pie.	Medición directa del evaluado.
Circunferencia de pantorrilla	Es la medida del contorno de la pantorrilla en el punto más prominente.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA), el sujeto estará sentado.	Medición directa del evaluado.
Diámetro sagital abdominal en posición vertical	Es la medida vertical del ombligo hasta el plano horizontal realizada con el sujeto acostado.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará una cinta antropométrica de material de fibra de vidrio (Laffayette Instruments Company Inc., USA), el sujeto estará en posición supina.	Medición directa del evaluado.
Pliegue de tríceps	Espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en el tríceps.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará un plicómetro marca Harpenden y se realizarán las medidas conforme a técnicas estándares.	Medición directa del evaluado.
Pliegue de bíceps	Espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en la parte inferior de la escápula.	Se registrará la medida en centímetros hasta el 0.1 más próximo	Se utilizará un plicómetro marca Harpenden y se realizarán las medidas conforme a técnicas estándares.	Medición directa del evaluado.
Masa corporal total, también referenciada como peso.	Es la magnitud física que permite expresar la cantidad de materia que contiene un sujeto.	En el Sistema Internacional, su unidad es el kilogramo (kg.).	Se utilizará la báscula electrónica con exactitud cercana a 0.01 kg (Tanita Corp. Tokyo, Japan), conectada al BOD POD.	Medición directa del evaluado.
Índice de masa corporal (IMC)	Razón matemática que relaciona la masa corporal total con la estatura.	kg/m^2	$\text{IMC} = \frac{\text{peso(kg)}}{\text{estatura}^2(\text{m})}$	Calculado a partir de datos crudos del estudio.
Índice de conicidad (IC)	Razón matemática que relaciona el perímetro de cintura, peso y estatura. Se fundamenta en el cambio de la figura a partir del cambio de la cantidad de grasa.		$\text{IC} = \frac{\text{Cintura (m)}}{0.109 \cdot \sqrt{(\text{peso(kg)}/\text{estatura(m)})}}$	Calculado a partir de datos crudos del estudio.
Complejión	Razón matemática que relaciona la circunferencia de muñeca con la estatura.		$R = \frac{\text{circunferencia de muñeca}}{\text{Estatura}}$	Calculado a partir de datos crudos del estudio.
Superficie del área corporal	Es la medida de la superficie del cuerpo humano	m^2	$\text{SAC} = 1/6(\text{peso} \times \text{altura})^5$	Calculado a partir de datos crudos del estudio.

Anexo H

Formato de consentimiento informado.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



CONSENTIMIENTO PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Yo, _____ (firmante), consiento por la presente participar en un proyecto de investigación bajo las siguientes

C o n d i c i o n e s

TÍTULO DEL PROYECTO: Validación de una ecuación basada en antropometría para estimar la composición corporal en adultos en situación de sobrepeso u obesidad

RESPONSABLES:

Lic. en Nut. Lilia Virginia Castro Porras. Programa de Maestría en Ciencias Biomédicas y de la Salud. Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tel: 771-71-2000.

Dr. Javier Villanueva Sánchez. Área Académica de Nutrición. Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tel: 771-71-7200 Ext. 5114. javilla@uaeh.edu.mx

OBJETIVO DEL PROYECTO:

Desarrollar y validar una ecuación basada en predictores antropométricos, seleccionados a partir de su contribución a la explicación de la cantidad de la masa grasa, en adultos entre 20 y 50 años de edad en situación de sobrepeso u obesidad en la población del estado de Hidalgo

LUGAR DEL ESTUDIO:

El estudio se llevará a cabo en el laboratorio de plicometría de la Cuarta Etapa del Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo(UAEH) , ubicado en Exhacienda la Concepción S/N San Agustín Tlaxiaca C.P. 42160 Tel. 01 771 71 720 00 ext. 5114.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**



NATURALEZA DE MI PARTICIPACIÓN: Mi participación en el presente proyecto consistirá en:

- 1) Responder preguntas de carácter general (nombre, edad, lugar de origen, tiempo de ayuno, tiempo de descanso previo). Tiempo aproximado del cuestionario 5 minutos
- 2) Permitir la toma de medidas antropométricas (estatura de pie y sentado, circunferencias de abdomen, pantorrilla y muñeca, pliegue tricótipal y subescapular, diámetro sagital abdominal de pie y acostado así como el peso corporal). Tiempo aproximado 20 minutos.
- 3) Permitir la determinación de composición corporal (masa grasa y masa libre de grasa) utilizando un pletismógrafo por desplazamiento de aire (Bod Pod). Para dicho estudio se requiere vestir exclusivamente un traje de baño y una gorra elástica para sujetar el cabello, se realizará descalzo. En caso de no contar con traje de baño, podrá realizarlo en ropa interior ajustada o bien, se le facilitará ropa adecuada limpia que podrá utilizar sobre su ropa interior. En el laboratorio de plicometría se dispone de un espacio sin ventanas y protegido con un biombo para que pueda cambiarse comodamente, también se contará con un tapete el cuál será sanitizado posterior a cada estudio. El laboratorio cuenta con cortinas en sus tres ventanas, de esta manera el desplazamiento por el laboratorio se llevará a cabo con privacidad. Tiempo aproximado del estudio 15 minutos.
- 4) El estudio será realizado por la responsable de la investigación y sólo será asistida por una persona más que llevará a cabo la función de anotador.

VENTAJAS PERSONALES PROVENIENTES DE MI PARTICIPACIÓN: Si yo otorgo mi consentimiento para participar en el presente estudio, podré conocer más sobre mi actual estado de salud en términos del porcentaje de grasa y en su caso el nivel de riesgo al que estoy expuesto de acuerdo al resultado. Adicionalmente tendré la satisfacción personal de haber colaborado con un importante estudio que pretende coadyuvar al personal de salud del estado a un diagnóstico más certero en relación a la situación de sobrepeso u obesidad. Me doy por entendido que no recibiré ninguna retribución de carácter económico, ya sea en efectivo o en especie por mi participación.

2/4

En el cincuentenario de la Autonomía Universitaria ICSa educa en valores

VALOR: Justicia ANTIVALOR: Injusticia

“Aspira a que la dignidad sea un bien para todos. Es el eje central de la ética, significa libertad, igualdad y reconocimiento de la dignidad”



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**



INCONVENIENTES PERSONALES PROVENIENTES DE MI PARTICIPACIÓN:

Los inconvenientes personales asociados al presente estudio comprenden: 1) Estar disponible por 40 minutos para que sea posible la toma de todos los datos requeridos por el estudio, 2) Desplazarme hasta el lugar del estudio, 3) Verme en la necesidad de despojarme del calzado y la ropa de calle, quedándome en ropa interior o traje de baño, utilizar una gorra elástica en mi cabeza para la toma del estudio y las medidas antropométrica y 4) en caso de que sea mujer y que haya duda para determinar situación de embarazo, me someteré a una prueba de embarazo utilizando orina, ésta se llevará a cabo en total privacidad en el sanitario de la 4ª etapa del ICSa.

RIESGOS: Éste es mínimo de acuerdo al inciso II del artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud. Los datos serán obtenidos a través de procedimientos comunes en exámenes físicos o tratamientos rutinarios. Quedo bajo el entendido de que mi participación no tendrá ningún efecto negativo sobre mi actual estado de salud, solamente el de ser detectado precozmente como sujeto de riesgo.

INFORMACIÓN CONCERNIENTE AL PROYECTO: Acepto responder a todas las preguntas correspondientes a la investigación en la que acepto participar.

SUSPENSIÓN DE MI PARTICIPACIÓN: En el entendido de que mi participación a la investigación descrita anteriormente es totalmente libre; quedando legalmente entendido que podré en cualquier momento rehusar mi participación, si en algún momento decido hacerlo, no tendré porque justificarlo.

CONFIDENCIALIDAD: Las valoraciones, y determinaciones efectuadas en el proyecto descrito anteriormente y que conciernen a mi persona, tendrán un carácter de total confidencialidad, y los resultados antropométricos y de composición corporal me serán entregados personalmente el mismo día de la evaluación.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**



Declaro haber leído y comprendido todos los puntos presentados en este documento, que consta de 4 páginas.

Nombre y Firma del interesado

Testigos

Nombre y firma

Nombre y firma

Pachuca, Hidalgo a ___ de _____ de 2011.

Yo, Lilia Virginia Castro Porras suscribo y certifico a) Haber explicado al firmante, los puntos incluidos en el presente formulario, b) Haber respondido satisfactoriamente a cada una de sus preguntas relacionadas con el estudio y c) haberle informado los resultados generales de su evaluación de composición corporal en términos de grasa y evaluación antropométrica.

LN. Lilia Virginia Castro Porras
Responsable de la investigación

Dr. Javier Villanueva Sánchez
Codirector y tutor del proyecto

Anexo I

Reporte de resultados detallado.

1.1 Limpieza de datos

No se encontraron datos para corregir en esta revisión. La totalidad de los datos se encontraron presentes y no hubo errores de registro.

1.2 Identificación de valores extremos

Del resultado de aplicar la prueba de Grubbs a las variables se obtuvo un valor de 3.39 para la variable Diámetro sagital abdominal tomada en posición decúbiteo supino (DSA_H), de 3.78 para la variable longitud de la línea axilar al onfolio (Axilar_O) y de 3.37 para la variable IMC para el sujeto con folio 46 y un valor de 3.46 para la variable Masa Grasa para el sujeto con folio 1. Por lo que se procedió a revisar los datos y se verificó que fueron tomados correctamente de la forma de recolección de datos, por tanto sólo se deja registro del hallazgo y se atribuye a la variabilidad biológica.

Estos resultados se pueden apreciar en los diagramas de caja y bigotes de para estas variables de la **Figura I.1** cuando se grafican en forma total, sin embargo cuando se grafica considerando la variable sexo, los valores extremos ya obtenidos se encuentran en la submuestra de mujeres, mientras que aparecen valores extremos no obtenidos con la prueba de Grebbs para los datos de los hombres.

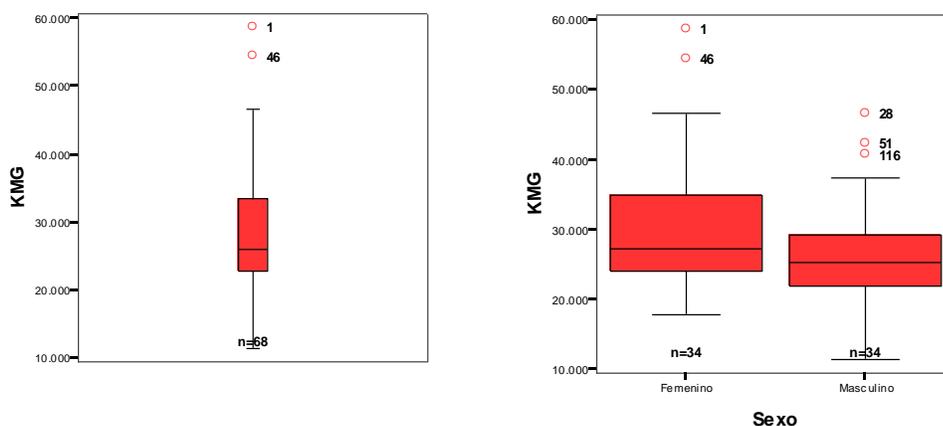


Figura I.1 Diagramas de caja y bigotes para la variable Masa Grasa (kg) con la submuestra total (n=68) y la submuestra por sexo (n=34)

1.3 Formación de submuestras

La submuestra del modelo es con la que se llevó a cabo la parte del análisis para derivar la ecuación de predicción, quedó compuesta por 68 sujetos (34 hombres y 34 mujeres); mientras que la submuestra de validación quedó compuesta por 51 sujetos (24 hombres y 27 mujeres).

1.4 Análisis descriptivo

1.4.1. Análisis descriptivo de la muestra total

Como se observa en la **Tabla I.1**, la muestra estuvo compuesta por 119 sujetos (61 mujeres y 58 hombres) de edades entre 20 y 50 años con una media de 33.1 años y una desviación estándar de 9.6 años; con $IMC \geq 25 \text{ kg/m}^2$ con una media de 30.3 kg/m^2 y una desviación estándar de 4.4 kg/m^2 .

1.4.2 Análisis descriptivo de las submuestras

De las submuestras para elaborar la ecuación de predicción y posteriormente para validarla En la **Tabla I.2**, se observó que la media y la desviación estándar no tuvieron diferencia estadísticamente significativa de acuerdo a los resultados de la prueba t de Student con un valor de $p < 0.05$.

Tabla I.1 Análisis descriptivo de la muestra total

	Total (n=119)	Mujeres (n=61)	Hombres (n=58)
Generales			
Edad (años)	33.1 ± 9.6 ^a	33.3 ± 10.1	33.0 ± 9.2
Nivel de actividad física (%)			
Sedentario	76.47	77.05	75.86
Bajo	15.97	21.31	10.34
Activo	7.56	1.64	13.79
Muy activo	0.00	0.00	0.00
Escolaridad (%)			
Primaria	5.88	8.20	3.45
Secundaria	6.72	8.20	5.17
Bachillerato	14.29	18.03	10.34
Licenciatura	54.62	50.82	58.62
Posgrado	18.49	14.75	22.41
Nivel Socioeconómico (ingresos mensual) (%)			
Menos de \$1,750	1.68	3.28	0.00
De \$1,751 a \$3,500	7.56	9.84	5.17
De \$3,501 a \$5,250	15.97	27.87	3.41
De \$5,251 a \$8,700	27.73	31.15	24.14
De \$8,701 a \$17,400	26.05	16.38	36.21
De \$17,401 a \$35,000	17.65	8.20	27.59
Más de \$35,000	3.36	3.28	3.45
Antropometría			
Estatura de pie (cm)	164.3 ± 9.2	157.7 ± 5.9	171.4 ± 6.5
Masa Corporal Total (kg)	81.8 ± 14.2	75.0 ± 12.6	89.2 ± 12.0
Longitudes			
Estatura sentado (cm)	128.7 ± 4.1	125.9 ± 2.8	131.7 ± 3.0
Linea media axilar al onfolio (cm)	27.6 ± 3.4	27.3 ± 3.3	27.69 ± 3.4
Diámetros			
Sagital abdominal de pie (cm)	27.1 ± 3.8	26.6 ± 3.9	27.6 ± 3.7
Sagital abdominal decúbito (cm)	23.7 ± 3.1	23.3 ± 3.1	24.1 ± 3.2
Circunferencias			
Muñeca (cm)	16.3 ± 1.2	15.4 ± 0.8	17.2 ± 0.7
Abdomen Prominente (cm)	104.0 ± 10.2	103.6 ± 10.5	104.5 ± 10.0
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	102.0 ± 10.6	99.9 ± 11.0	104.2 ± 9.7
Pantorrilla (cm)	38.9 ± 3.1	38.1 ± 3.4	39.8 ± 2.6
Pliegues			
Subescapular (cm)	21.3 ± 4.8	21.0 ± 4.2	21.7 ± 5.4
Tricipital (cm)	15.3 ± 4.5	18.1 ± 3.6	12.3 ± 3.3
Pletismografía			
Porcentaje de masa grasa (%)	34.2 ± 7.2	38.4 ± 5.2	29.9 ± 6.5
Porcentaje de masa libre de grasa (%)	65.8 ± 7.2	61.6 ± 5.2	70.1 ± 6.5
Masa grasa (kg)	28.2 ± 8.8	29.2 ± 8.5	27.1 ± 9.0
Masa libre de grasa (kg)	53.7 ± 10.0	45.7 ± 5.5	62.0 ± 6.2
Índices antropométricos			
IMC (kg/m ²) ^b	30.3 ± 4.4	30.1 ± 4.8	30.4 ± 4.0
Índice de Conicidad	1.3 ± 0.06	1.3 ± 0.07	1.3 ± 0.05
Complejión	10.1 ± 0.7	10.3 ± 0.6	9.9 ± 0.7
Superficie del área corporal	19.3 ± 2.0	18.0 ± 1.6	20.56 ± 1.52

^a X ± DS^b Índice de Masa Corporal

Tabla I.2 Características de las submuestras para la construcción y validación del modelo

	Submuestra Modelo (<i>n</i> =68)	Submuestra Validación (<i>n</i> =51)
Generales		
Edad (años)	32.6 ± 9.2 (20,50) ^a	33.9 ± 10.2 (20,50) ^a
Antropometría		
Estatura de pie (cm)	164.9 ± 8.8 (147.9, 184.5)	163.5 ± 9.7 (135.7, 183.5)
Masa Corporal Total (kg)	83.1 ± 13.1 (59.6, 117.6)	80.2 ± 15.4 (53.2, 123.6)
Longitudes		
Estatura sentado (cm)	128.9 ± 3.9 (122.2, 137.2)	128.5 ± 4.5 (117.4, 138.2)
Linea media axilar al onfolio (cm)	27.5 ± 3.3 (21.2, 40.0)	27.7 ± 3.5 (22.8, 39.0)
Diámetros		
Sagital abdominal de pie (cm)	27.3 ± 3.9 (20.3, 40.4)	26.8 ± 3.8 (22.3, 37.8)
Sagital abdominal decúbito (cm)	23.9 ± 3.2 (19.1, 33.6)	23.3 ± 3.0 (19.3, 32.4)
Circunferencias		
Muñeca (cm)	16.4 ± 1.2 (13.9, 18.7)	16.1 ± 1.3 (13.8, 19.5)
Abdomen Prominente (cm)	104.4 ± 10.1 (84.1, 135.0)	103.6 ± 10.4 (91.4, 130.6)
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	102.3 ± 10.8 (83.8, 132.9)	101.6 ± 10.3 (87.0, 129.8)
Pantorrilla (cm)	39.3 ± 2.9 (32.5, 47.5)	38.5 ± 3.4 (31.8, 48.3)
Pliegues		
Subescapular (cm)	21.6 ± 4.5 (13.6, 33.8)	20.9 ± 5.2 (11.7, 33.5)
Tricipital (cm)	15.7 ± 4.4 (8.4, 25.5)	14.8 ± 4.5 (5.8, 23.7)
Pletismografía		
Porcentaje de masa grasa (%)	34.4 ± 7.3 (14.7, 52.3)	34.1 ± 7.2 (14.2, 47.4)
Porcentaje de masa libre de grasa (%)	65.7 ± 7.3 (47.7, 85.3)	65.8 ± 7.1 (52.6, 85.8)
Masa grasa (kg)	28.7 ± 8.7 (11.4, 58.9)	27.5 ± 8.9 (10.8, 54.2)
Masa libre de grasa (kg)	54.4 ± 9.6 (38.7, 76.4)	52.6 ± 10.6 (35.5, 75.7)
Índices antropométricos		
IMC (kg/m ²) ^c	30.6 ± 4.4 (25, 45.6)	29.9 ± 4.4 (25, 40.9)
Índice de Conicidad	1.3 ± 0.06 (1.2, 1.5)	1.3 ± 0.06 (1.2, 1.5)
Complejión	10.1 ± 0.5 (8.8, 11.4)	10.1 ± 0.5 (9.0, 11.5)
Superficie del área corporal	19.5 ± 1.8 (15.9, 23.1)	19.0 ± 2.2 (14.7, 24.4)

Las submuestras presentan varianza homogénea, Prueba t de Student $p < 0.05$

^a $\bar{X} \pm DS$ (min, max)

^b Tasa Metabólica en Reposo

^c Índice de Masa Corporal

Como se muestra en la **Figura I.2**, de la submuestra de 68 sujetos utilizada para generar el modelo, se analizó el porcentaje de masa grasa por sexo y se observó un corrimiento en los porcentajes de grasa obtenidos, ya que en el caso de las mujeres se presentan casos a partir del rango del 25% y en el caso de los varones los porcentajes más altos se observan menores a 44.99%. En ambos estratos se aprecia una distribución cercana a la normal.

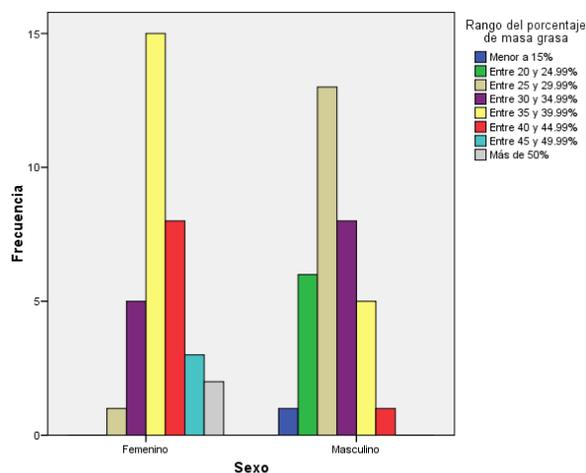


Figura I.2 Gráfico de distribución de la variable porcentaje de masa grasa analizada por sexo.

Por otra parte, como se muestra en la **Figura I.3**, los mismos datos graficados por clasificación de grado de obesidad de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad basados en el IMC, se observa una distribución diferente al del porcentaje de masa grasa.

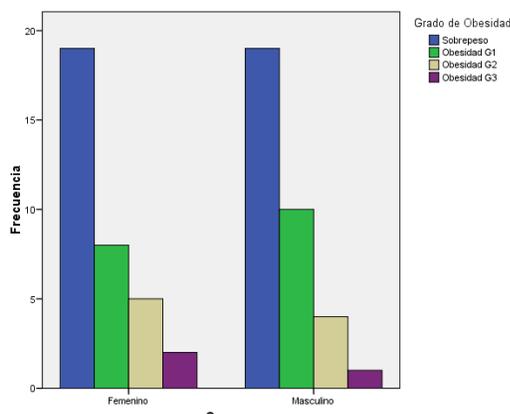


Figura I.3 Gráfico de distribución de la variable IMC clasificada por grado de obesidad de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2010, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, por sexo.

I.5 Análisis univariado y bivariado

Este análisis se realizó sobre la submuestra de la que se extrajo el modelo, teniendo los resultados que se detallan en los siguientes apartados.

1.5.1 Prueba de normalidad de las variables dependientes

Como se aprecia en la **Tabla I.3** la prueba de normalidad para las variables dependientes masa grasa (KMG) y masa libre de grasa (KMLG) tienen un valor de significancia de .017 para la primera y de .209 para la segunda, por lo que se acepta la hipótesis de normalidad para la masa libre de grasa y se rechaza para la masa grasa. La prueba compara una distribución normal teórica con la distribución de los datos.

Tabla I.3 Prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) para una muestra (n=119)

		Masa Grasa (kg)	Masa Libre de Grasa (kg)
N		119	119
Parámetros normales(a,b)	Media	21.19450	53.67579
	Desviación típica	8.795891	10.037531
Diferencias más extremas	Absoluta	.141	.097
	Positiva	.141	.097
	Negativa	-.079	-.080
Z de Kolmogorov-Smirnov		1.543	1.063
Sig. asintót. (bilateral)		.017	.209

a La distribución de contraste es la Normal.
 b Se han calculado a partir de los datos.

En la **Figura I.4** se muestra la curva normal sobre el histograma de frecuencias de ambas variables. Se observa un sesgo positivo en la MG mientras que la MLG parece insesgada. En el histograma la MG presenta una mayor tendencia a la normalidad comparada con la MLG que presenta dos picos en los lados y una depresión en el centro.

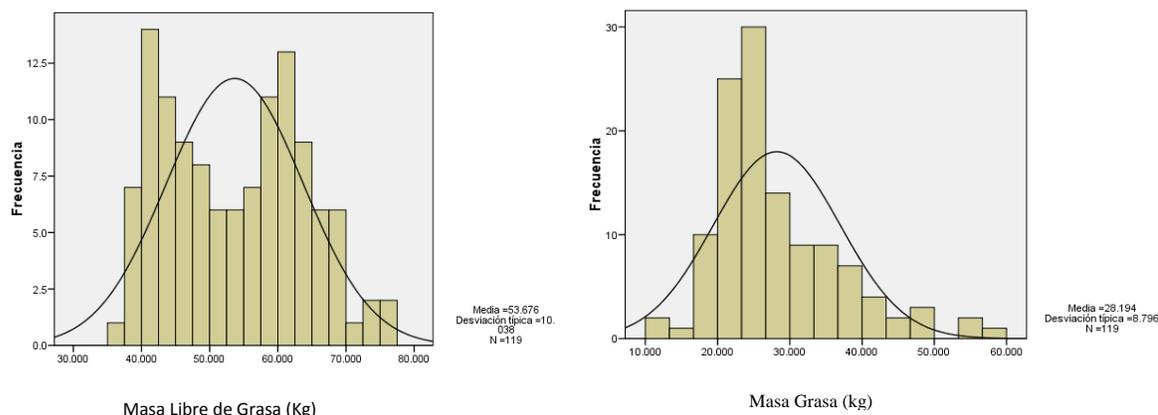


Figura I.4 Gráfico de Distribución de las variables dependientes Masa Grasa (kg) y Masa Libre de Grasa (MLG)

1.5.2 Análisis de curtosis y asimetría

De acuerdo a los resultados expuestos en la **Tabla I.4**, el coeficiente de curtosis de la variable Masa Grasa es de 1.446 mientras que el de la variable Masa Libre de Grasa es -1.022 lo que indica que la Masa Grasa tiende a concentrarse en torno a la media más que en una distribución Normal; mientras que la Masa Libre de Grasa tiende a dispersarse más.

Por otra parte el coeficiente de simetría de la variable Masa Grasa es de 1.134 en tanto que el de la variable Masa Libre de Grasa es 0.179, en ambos casos fue positivo por lo que las desviaciones a la media son mayores para los valores superiores a la misma que para los valores inferiores, siendo más importante para la Masa Grasa. Al tener la variable Masa Libre de Grasa un valor más cercano a cero, es más probable que tenga una distribución normal, como se confirmó con el análisis de Normalidad por medio de la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Los resultados están en correspondencia con el histograma de frecuencias mostrado en la Figura I.4.

Tabla I.4 Estadísticos para las variables dependientes Masa Grasa (KMG) y Masa Libre de Grasa (KMLG)

		KMG	KMLG
N	Válidos	119	119
	Perdidos	0	0
Media		28.19450	53.67579
Mediana		25.58400	53.90200
Moda		10.788 ^a	35.523 ^a
Desv. típ.		8.795891	0.037531
Varianza		77.368	100.752
Asimetría		1.134	.179
Error típ. de asimetría		.222	.222
Curtosis		1.446	-1.022
Error típ. de curtosis		.440	.440
Rango		48.084	40.908
Mínimo		10.788	35.523
Máximo		58.872	76.431
Percentiles	25	22.64600	44.23300
	50	25.58400	53.90200
	75	32.60300	61.72400

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

En la submuestra para la obtención del modelo, se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad de las variables independientes encontrándose que el Diámetro Sagital Abdominal tomado en posición de pie (DSAV) fue la única que no fue mayor a 0.05, como se reporta en la **Tabla I.5**, por lo que el resto de variables se asume cumple con el supuesto de normalidad.

Tabla I.5 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las variables independientes.

		EstaturaP	DSAV	EstaturaS	Muñeca	AbdomenP	AbdomenO	AxilaOmb	PiequeS
N		68	68	68	68	68	68	68	68
Parámetros normales ^a ^b	Media	164.940	27.344	128.946	16.412	104.375	102.237	27.490	21.647
	Desviación típica	8.7878	3.8604	3.8337	1.1771	10.1155	10.8177	3.3010	4.5046
Diferencias más extremas	Absoluta	.091	.168	.082	.063	.136	.126	.110	.104
	Positiva	.091	.168	.082	.063	.136	.126	.110	.104
	Negativa	-.041	-.062	-.049	-.059	-.079	-.061	-.067	-.075
Z de Kolmogorov-Smirnov		.754	1.384	.676	.518	1.121	1.043	.904	.860
Sig. asintót. (bilateral)		.620	.043	.751	.951	.162	.227	.387	.451

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

		PiequeT	DSAH	Pantorrilla	MCT	IMC	Conicidad	Complejión
N		68	68	68	68	68	68	68
Parámetros normales ^a ^b	Media	15.657	23.990	39.301	83.13807	30.569	1.323	10.077
	Desviación típica	4.3933	3.2076	2.8854	3.129618	4.4638	.0628	.5488
Diferencias más extremas	Absoluta	.095	.111	.076	.070	.149	.088	.065
	Positiva	.095	.111	.076	.070	.149	.088	.036
	Negativa	-.056	-.064	-.061	-.055	-.106	-.053	-.065
Z de Kolmogorov-Smirnov		.782	.914	.627	.580	1.232	.729	.537
Sig. asintót. (bilateral)		.573	.373	.827	.889	.096	.663	.936

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

1.5.3 Prueba de homogeneidad de varianzas

La prueba de homogeneidad de varianzas basada en el estadístico de Levene fue aceptada con nivel de significancia mayor a 0.10 para las variables marcadas con asterisco (*) en la **Tabla I.6**, se observa que si el nivel de significancia es mayor a 0.05 prácticamente todas las variables quedan aceptadas a excepción de Nivel de actividad física y el IMC.

Tabla I. 6 Prueba de Levene para igualdad de varianzas entre hombres y mujeres

	<u>F</u>	<u>Nivel de significancia</u>
Generales		
Edad (años)	0.550	0.461 *
Nivel de actividad física	17.680	0.000
Estatura de pie (cm)	3.861	0.054
Masa Corporal Total (kg)	2.192	0.143 *
Escolaridad y nivel socioeconómico		
Escolaridad	1.023	0.315 *
Nivel Socioeconómico	0.076	0.784 *
Antropometría		
Longitudes		
Estatura sentado (cm)	1.180	0.281 *
Linea media axilar al onfolio (cm)	2.704	0.105 *
Diámetros		
Sagital abdominal de pie (cm)	2.868	0.095
Sagital abdominal decúbito (cm)	2.187	0.144 *
Circunferencias		
Muñeca (cm)	0.638	0.427 *
Abdomen Prominente (cm)	2.337	0.131 *
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	3.724	0.058
Pantorrilla (cm)	3.807	0.055
Pliegues		
Subescapular (cm)	0.138	0.712 *
Tricipital (cm)	0.865	0.356 *
Pletismografía		
Porcentaje de masa grasa (%)	0.044	0.834 *
Porcentaje de masa libre de grasa (%)	0.053	0.819 *
Masa grasa (kg)	1.723	0.194 *
Masa libre de grasa (kg)	0.052	0.820 *
Índices		
IMC (kg/m ²)	6.296	0.015
Índice de Conicidad	1.393	0.242 *
Complexión	0.105	0.747 *
SAC	0.370	0.545 *
TMR (kcal/día)	1.454	0.232 *

* Nivel de significancia > 0.10

1.5.4 Análisis de correlación

1.5.4.1 Análisis de correlación entre el IMC y el Porcentaje de Grasa

En la **Tabla I.7** se puede apreciar la asociación entre el Índice de Masa Corporal y el Porcentaje de grasa, siendo esta asociación fuerte de .599 con nivel de significancia de 0.01 y en sentido positivo, mismo que se observa en la **Figura I.5**.

Tabla I.7 Análisis de correlación entre el IMC y el Porcentaje de Grasa

		PMG	IMC
PMG	Correlación de Pearson	1	.599**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	68	68
IMC	Correlación de Pearson	.599**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	68	68

** . La correlación es significativa al nivel 0,01

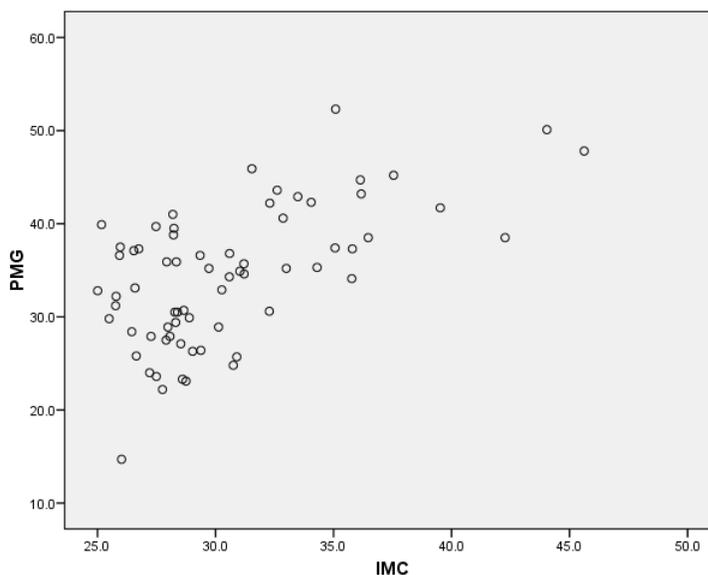


Figura I.5 Gráfico de la correlación entre el IMC y el Porcentaje de Grasa

I.5.4.2

Análisis de correlación entre las variables dependientes e independientes

En la **Tabla I.8** se puede ver el análisis de correlación entre las variables dependientes con cada una de las posibles predictoras, del que se obtiene una lista de las variables que son

candidatas a ser elegidas para que formen parte de la ecuación de predicción. Se resalta el hecho de que la variable Masa Corporal Total (kg) no mostró correlación con ninguna de las variables dependientes.

Tabla I.8 Correlación de Pearson^a entre las variables dependientes e independientes.

	Masa Grasa	Masa Libre de Grasa
	ρ [p]	ρ [p]
Generales		
Sexo	-0.651 [.000]**	0.652 [.000]**
Edad (años)	-0.380 [.760]	0.390 [.753]
Nivel de actividad física	-0.300 [.013]*	0.299 [.013]*
Estatura de pie (cm)	-0.593 [.000]**	0.593 [.000]**
Masa Corporal Total (kg)	0.149 [.224]	-0.148 [.227]
Escolaridad y nivel socioeconómico		
Escolaridad	-0.281 [.020]*	0.279 [.021]*
Nivel Socioeconómico	-0.103 [.405]	0.100 [.416]
Antropometría		
Longitudes		
Estatura sentado (cm)	-0.532 [.000]**	0.532 [.000]**
Linea media axilar al onfolio (cm)	0.362 [.002]**	-0.361 [.003]**
Diámetros		
Sagital abdominal de pie (cm)	0.472 [.000]**	-0.471 [.000]**
Sagital abdominal decúbito (cm)	0.557 [.000]**	-0.556 [.000]**
Circunferencias		
Muñeca (cm)	-0.353 [.003]**	0.355 [.003]**
Abdomen Prominente (cm)	0.504 [.000]**	-0.503 [.000]**
Abdomen a la altura del onfolio (cm)	-0.371 [.002]**	-0.370 [.002]**
Pantorrilla (cm)	0.347 [.004]**	-0.346 [.004]**
Pliegues		
Subescapular (cm)	0.438 [.000]**	-0.437 [.000]**
Tricipital (cm)	0.670 [.000]**	-0.670 [.000]**
Índices		
IMC (kg/m ²)	0.599 [.000]**	-0.598 [.000]**
Índice de Conicidad	0.244 [.045]*	-0.243 [.046]*
Complexión	0.018 [.884]	-0.019 [.876]
TMR (kcal/día)	-0.406 [.001]**	0.407 [.001]**

ρ [p] Coeficiente de correlación de Pearson [nivel de significancia]

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral)

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral)

1.5.4.3 Análisis de colinealidad entre las variables independientes

Del análisis de correlación entre las variables dependientes cuyos resultados se muestran en la **Tabla I.9**; del cual se observó que algunas arrojaron valores superiores a 0.75. Tomando éste como límite se puede considerar que existe colinealidad entre las variables: 1) diámetro sagital abdominal tomado en posición de pie y circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfalo; 2) estatura tomada en posición de pie y estatura tomada en posición sentado; 3) circunferencia del abdomen tomada en la parte más prominente del mismo y circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfalo; 4) diámetro sagital abdominal tomado en posición de pie y masa corporal total; 5) circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfalo e índice de masa corporal; 6) masa corporal total y circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfalo y 7) diámetro sagital abdominal tomado en posición de pie y diámetro sagital abdominal tomado en posición decúbito supino.

Tabla I.9 Análisis de correlación entre las variables independientes con $R^2 \geq 0.70$

	Correlación entre variables		r	R ²
1	Diámetro Sagital Abdominal de pie	Circunferencia del abdomen onfalo	0.90	0.82
2	Estatura de pie	Estatura sentado	0.90	0.81
3	Circunferencia del abdomen prominente	Circunferencia del abdomen onfalo	0.89	0.79
4	Diámetro Sagital Abdominal de pie	Masa Corporal Total	0.88	0.77
5	Circunferencia del abdomen onfalo	IMC	0.87	0.76
6	Masa Corporal Total	Circunferencia del abdomen onfalo	0.87	0.76
7	Diámetro Sagital Abdominal de pie	Diámetro Sagital Abdominal decúbito	0.86	0.75
8	Diámetro Sagital Abdominal de pie	Circunferencia del abdomen prominente	0.86	0.74
9	Circunferencia del abdomen prominente	AbdomenP-IMC	0.86	0.74
10	Diámetro Sagital Abdominal decúbito	Circunferencia del abdomen prominente	0.85	0.72
11	Diámetro Sagital Abdominal decúbito	IMC	0.85	0.72
12	Masa Corporal Total	Pantorrilla	0.84	0.71
13	Línea media axilar al onfalo	Diámetro Sagital Abdominal de pie	0.84	0.71
14	Diámetro Sagital Abdominal decúbito	Circunferencia del abdomen onfalo	0.84	0.71
15	Circunferencia del abdomen onfalo	Conicidad	0.84	0.70

De estas variables se obtuvo el VIF (variance inflator factor) y se observa en la **Tabla I.10** que para el conjunto de pares de variables con coeficiente de determinación $R^2 \geq 0.75$, el VIF fue superior a 2.9 con un máximo de 4.47.

Tabla I.10 Análisis del Factor de inflación de la varianza entre las variables de factor pronóstico con $R^2 \geq 0.75$

Correlación entre variables		R^2	VIF
Diámetro Sagital Abdominal de pie	Circunferencia del abdomen onfalio	0.82	4.47
Estatura de pie	Estatura sentado	0.81	4.31
Circunferencia del abdomen prominente	Circunferencia del abdomen onfalio	0.79	3.85
Diámetro Sagital Abdominal de pie	Masa Corporal Total	0.77	3.33
Circunferencia del abdomen onfalio	IMC	0.76	3.24
Masa Corporal Total	Circunferencia del abdomen onfalio	0.76	3.08
Diámetro Sagital Abdominal de pie	Diámetro Sagital Abdominal decúbiteo	0.75	2.94

Este análisis permitió ir descartando algunas de las variables, particularmente aquellas cuya obtención en el campo es de mayor dificultad por requerir de un instrumento y/o de una técnica más compleja. Las variables que se descartaron fueron diámetro sagital abdominal tomado en posición de pie, circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfalio y estatura tomada en posición sentado. Se realizó como se muestra en la **Tabla I.11** un análisis entre las variables más susceptibles a ser consideradas para que sirvan como

Tabla I.11 Análisis de correlación entre las variables de factor pronóstico

predictoras.

		EstaturaP	MCT	DSAH	Muñeca	AbdomenP	Pantorrilla	PliegueS	PliegueT	IMC	Conicidad	Complejión
Sexo	ρ [p]	0.739	0.424	0.009	0.743	-0.013	0.143	-0.069	-0.729	-0.075	0.049	-0.269
	p	0.000	0.000	0.943	0.000	0.914	0.244	0.576	0.000	0.545	0.691	0.027
EstaturaP	ρ [p]		0.488	-0.048	0.658	0.016	0.244	-0.198	-0.601	-0.199	0.070	0.093
	p		0.000	0.698	0.000	0.897	0.045	0.106	0.000	0.104	0.568	0.450
MCT	ρ [p]			0.715	0.714	0.776	0.842	0.415	-0.140	0.756	0.533	-0.474
	p			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.255	0.000	0.000	0.000
DSAH	ρ [p]				0.321	0.849	0.729	0.496	0.225	0.846	0.623	-0.468
	p				0.008	0.000	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000
Muñeca	ρ [p]					0.361	0.520	0.243	-0.431	0.315	0.339	-0.687
	p					0.003	0.000	0.045	0.000	0.009	0.005	0.000
AbdomenP	ρ [p]						0.702	0.508	0.237	0.858	0.679	-0.462
	p						0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000
Pantorrilla	ρ [p]							0.398	0.032	0.766	0.371	-0.454
	p							0.001	0.793	0.000	0.002	0.000
PliegueS	ρ [p]								0.392	0.609	0.322	-0.492
	p								0.001	0.000	0.007	0.000
PliegueT	ρ [p]									0.285	0.162	-0.009
	p									0.018	0.187	0.945
IMC	ρ [p]										0.555	-0.609
	p										0.000	0.000
Conicidad	ρ [p]											-0.382
	p											0.001

1.5.4.4 Análisis de regresión lineal de las variables dependientes con las variables independientes

Considerando a las variables dependientes masa grasa y masa libre de grasa, se elaboró una ecuación de regresión lineal simple con cada una de las variables independientes. En la **Tabla I.12** se observó que las variables con coeficiente de determinación más alto para la variable masa grasa fueron diámetro sagital abdominal tomado en posición de pie, diámetro sagital abdominal tomado en posición decúbito supino, circunferencia de abdomen prominente, circunferencia a la altura del onfolio, circunferencia de pantorrilla y el índice de masa corporal; mientras que para la variable masa libre de grasa fueron el sexo, la estatura tomada de pie, la masa corporal total, la estatura tomada sentado y la circunferencia de muñeca.

Tabla I.12 Coeficiente de determinación del análisis de regresión lineal simple de las variables dependientes con cada una de las variables independientes

Variable dependiente \ Variable independiente	Masa Grasa		Masa Libre de Grasa	
	R ²	EE	R ²	EE
Sexo	0.061	8.513	0.645	5.776
Edad	0.019	8.702	0.011	9.644
Estatura de pie	0.031	8.649	0.681	5.481
Masa Corporal Total	0.463	6.437	0.559	6.440
Estatura Sentado	0.006	8.761	0.724	5.098
Línea Media Axilar al Onfolio	0.388	6.874	0.086	9.276
Diámetro Sagital Abdominal de pie	0.622	5.400	0.101	9.200
Diámetro Sagital Abdominal decúbito	0.668	5.063	0.055	9.429
Circunferencia de Muñeca	0.025	8.675	0.691	5.394
Circunferencia del abdomen Prominente	0.664	5.089	0.103	9.189
Circunferencia del abdomen a la altura del onfolio	0.603	5.533	0.232	8.498
Circunferencia de Pantorrilla	0.546	5.922	0.230	8.513
Pliegue subescapular	0.298	7.360	0.005	9.677
Pliegue tricpital	0.171	7.997	0.321	7.991
Índice de Masa Corporal IMC	0.785	4.078	0.052	9.443
Índice de Conicidad	0.242	7.651	0.079	9.309
Índice de Complejón	0.140	8.148	0.095	9.230

1.5.4.5 Análisis del coeficiente de determinación y del error esperado del modelo lineal que ajusta a cada una de las variables independientes con el resto.

Considerando cada una de las variables independientes como dependiente, se elaboró una ecuación de regresión lineal simple con el resto de variables independientes

Tabla I.3 Coeficiente de determinación del análisis de regresión lineal simple de las variables independientes asumiéndolas como variables dependientes

	Estatura Sentado			Circunferencia del abdomen prominente			IMC	
	R ²	EE		R ²	EE		R ²	EE
Diámetro sagital abdominal de pie	0.004	3.854	Diámetro sagital abdominal de pie	0.745	5.148	Diámetro sagital abdominal de pie	0.769	2.161
Circunferencia del abdomen al onfolio	0.051	3.763	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.794	4.631	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.765	2.182
Estatura de pie	0.812	1.675	Estatura de pie	0.000	10.191	Estatura de pie	0.040	4.408
Circunferencia del abdomen	0.012	3.840	Estatura Sentado	0.012	10.133	Estatura Sentado	0.000	4.497
IMC	0.000	3.862	IMC	0.737	5.228	Circunferencia del abdomen	0.737	2.307
Masa Corporal Total	0.330	3.162	Masa Corporal Total	0.602	6.430	Masa Corporal Total	0.572	2.944
Diámetro sagital abdominal decúbiteo	0.003	3.858	Diámetro sagital abdominal decúbiteo	0.722	5.377	Diámetro sagital abdominal decúbiteo	0.716	2.397
Pantorrilla	0.147	3.568	Pantorrilla	0.493	7.259	Pantorrilla	0.586	2.894
Linea media axilar al onfolio	0.002	3.858	Linea media axilar al onfolio	0.602	6.430	Linea media axilar al onfolio	0.524	3.104
Índice de conicidad	0.002	3.859	Índice de conicidad	0.461	7.483	Índice de conicidad	0.308	3.741

	Masa Corporal Total			Diámetro Sagital Abdominal decúbiteo			Pantorrilla	
	R ²	EE		R ²	EE		R ²	EE
Diámetro sagital abdominal de pie	0.571	8.664	Diámetro sagital abdominal de pie	0.747	1.625	Diámetro sagital abdominal de pie	0.464	2.128
Circunferencia del abdomen al onfolio	0.756	6.537	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.705	1.756	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.555	1.939
Estatura de pie	0.238	11.548	Estatura de pie	0.002	3.228	Estatura de pie	0.059	2.819
Estatura Sentado	0.330	10.830	Estatura Sentado	0.003	3.228	Estatura Sentado	0.147	2.686
Circunferencia del abdomen prominente	0.602	8.347	Circunferencia del abdomen	0.722	1.705	Circunferencia del abdomen	0.493	2.071
IMC	0.572	8.659	IMC	0.716	1.723	IMC	0.586	1.870
Diámetro sagital abdominal decúbiteo	0.511	9.248	Masa Corporal Total	0.511	2.259	Masa Corporal Total	0.710	1.567
Pantorrilla	0.710	7.129	Pantorrilla	0.532	2.212	Diámetro sagital abdominal	0.532	1.990
Linea media axilar al onfolio	0.394	10.298	Linea media axilar al onfolio	0.555	2.156	Linea media axilar al onfolio	0.317	2.402
Índice de conicidad	0.284	11.196	Índice de conicidad	0.388	2.529	Índice de conicidad	0.138	2.700

Tabla I.3 Coeficiente de determinación del análisis de regresión lineal simple de las variables independientes asumiéndolas como variables dependientes

	Diámetro Sagital Abdominal de pie			Circunferencia del abdomen al onfolio			Estatura de pie	
	R ²	EE		R ²	EE		R ²	EE
Circunferencia del abdomen al onfolio	0.818	1.661	Diámetro sagital abdominal de pie	0.818	4.654	Diámetro sagital abdominal de pie	0.002	8.844
Estatura de pie	0.001	3.888	Estatura de pie	0.020	10.789	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.020	8.764
Estatura Sentado	0.004	3.881	Estatura Sentado	0.051	10.619	Estatura Sentado	0.812	3.839
Circunferencia del abdomen prominente	0.745	1.965	Circunferencia del abdomen prominente	0.794	4.952	Circunferencia del abdomen prominente	0.000	8.853
IMC	0.769	1.869	IMC	0.765	5.288	IMC	0.040	8.677
Masa Corporal Total	0.571	2.547	Masa Corporal Total	0.756	5.386	Masa Corporal Total	0.238	7.729
Diámetro sagital abdominal decúbito	0.747	1.956	Diámetro sagital abdominal decúbito	0.705	5.921	Diámetro sagital abdominal decúbito	0.002	8.844
Pantorrilla	0.464	2.847	Pantorrilla	0.555	7.269	Pantorrilla	0.059	8.587
Línea media axilar al onfolio	0.708	2.101	Línea media axilar al onfolio	0.685	6.115	Línea media axilar al onfolio	0.000	8.854
Índice de conicidad	0.510	2.722	Índice de conicidad	0.701	5.957	Índice de conicidad	0.005	8.832

	Línea Media Axilar a la altura del onfolio			Índice de Conicidad	
	R ²	EE		R ²	EE
Diámetro sagital abdominal de pie	0.71	1.80	Diámetro sagital abdominal de pie	0.510	0.044
Circunferencia del abdomen al	0.69	1.87	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.701	0.035
Estatura de pie	0.00	3.33	Estatura de pie	0.005	0.063
Estatura Sentado	0.00	3.32	Estatura Sentado	0.002	0.063
Circunferencia del abdomen	0.60	2.10	Circunferencia del abdomen	0.461	0.046
IMC	0.52	2.30	IMC	0.308	0.053
Masa Corporal Total	0.39	2.59	Masa Corporal Total	0.284	0.054
Diámetro sagital abdominal	0.56	2.22	Diámetro sagital abdominal decúbito	0.388	0.050
Pantorrilla	0.32	2.75	Pantorrilla	0.138	0.059
Índice de conicidad	0.58	2.16	Línea media axilar al onfolio	0.578	0.041

De este análisis se observó que el coeficiente de determinación es el mismo para dos variables dadas, sin embargo se obtienen diferentes valores para el error esperado, llegando como se puede ver en la **Tabla I.14** a ser en algunos casos de hasta casi dos veces más como es el caso de la dupla diámetro sagital abdominal de pie y circunferencia del

abdomen a la altura del onfolio, que muestran un coeficiente de determinación de 0.818 con un error esperado de 1.661 cuando el diámetro sagital abdominal es la variable dependiente que cuando es a la inversa, mostrando en este caso un error esperado de 4.654.

Tabla I.13 Coeficiente de determinación y error esperado del análisis de regresión lineal simple entre las variables independientes

Variable dependiente	Variable independiente	R ²	EE
Diámetro sagital abdominal de pie	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.818	1.661
Circunferencia del abdomen al onfolio	Diámetro sagital abdominal de pie	0.818	4.654
Estatura Sentado	Estatura de pie	0.812	1.675
Estatura de pie	Estatura Sentado	0.812	3.839
Circunferencia del abdomen prominente	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.794	4.631
Circunferencia del abdomen al onfolio	Circunferencia del abdomen prominente	0.794	4.952
Diámetro sagital abdominal de pie	Índice de Masa Corporal	0.769	1.869
Índice de Masa Corporal	Diámetro sagital abdominal de pie	0.769	2.161
Índice de Masa Corporal	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.765	2.182
Circunferencia del abdomen al onfolio	Índice de Masa Corporal	0.765	5.288
Circunferencia del abdomen al onfolio	Masa Corporal Total	0.756	5.386
Masa Corporal Total	Circunferencia del abdomen al onfolio	0.756	6.537

1.6 Análisis Multivariado

Este análisis se realizó sobre la submuestra de la que se extrajo el modelo, teniendo los siguientes resultados.

I.6.1 Análisis de componentes principales

La **Tabla I.1.5** muestra el resultado del análisis de componentes principales, del que se observa que fue posible agrupar las variables independientes en dos componentes principales, el primero conformado por nueve variables: circunferencia del abdomen tomada a la altura del onfolio, diámetro sagital abdominal tomada en posición de pie, índice de masa corporal, circunferencia del abdomen tomada en la parte más prominente, diámetro sagital abdominal tomada en posición decúbito supino, longitud de la línea media axilar al onfolio tomada a la altura de éste, masa corporal total, índice de conicidad y circunferencia de pantorrilla, y el segundo componente formado por dos variables: estatura tomada en posición de pie y estatura tomada en posición sentado. En la **Tabla I.16** se ve que entre ambos componentes explican el 84.9% de la variabilidad. Y del gráfico de sedimentación mostrado en la **Figura I.6**, se aprecia la contribución de ambos componentes y de la **Figura I.7** se puede observar la agrupación de las variables en ambos componentes.

Tabla I.14 Resultado del análisis de componentes principales

	Componente	
	1	2
AbdomenO	0.961	0.185
DSAV	0.952	0.009
IMC	0.934	-0.081
AbdomenP	0.931	0.063
DSAH	0.916	0.002
AxilaOmb	0.872	-0.013
MCT	0.792	0.568
Conicidad	0.765	0.009
Pantorrilla	0.756	0.380
EstaturaS	0.051	0.971
EstaturaP	-0.052	0.964

Método de extracción: Análisis de componentes principales. 

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Tabla I.16 Porcentaje de varianza atribuido a los componentes principales

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.131	64.829	64.829	6.960	63.270	63.270
2	2.213	20.122	84.951	2.385	21.681	84.951
3	0.769	6.994	91.945			
4	0.228	2.072	94.018			
5	0.190	1.723	95.741			
6	0.177	1.608	97.349			
7	0.133	1.209	98.557			
8	0.090	0.818	99.375			
9	0.067	0.609	99.984			
10	0.001	0.012	99.996			
11	0.000	0.004	100.000			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

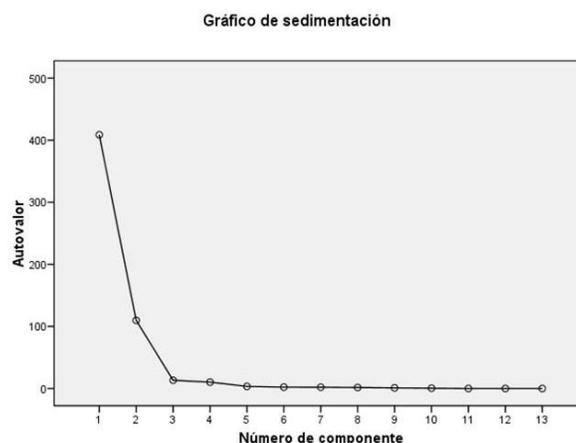


Figura I.6 Gráfico de sedimentación de los componentes principales



Figura I.7 Gráfico de las variables que integran los componentes principales

1.6.2 Análisis de regresión lineal múltiple

Se realizó el análisis de regresión lineal múltiples con el paquete estadístico SPSS versión 15.0. En la **Tabla I.17** y **Tabla I.18** se muestran los resultados este análisis, antecedidas por la ecuación de predicción obtenida.

ECUACIÓN 1

$$MLG = -37.581 + 0.310W + 0.380H + 7.029S \quad R^2=0.898; \text{SRMSE}=3.14 \text{ kg}$$

Donde: W=peso (kg); H=estatura (cm); S= sexo (0:Mujer, 1:Hombre).

Tabla I.15 Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la ecuación 1

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.948 ^a	.898	.893	3.147267

a. Variables predictoras: (Constante), Sexo, MCT, EstaturaP

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	5576.164	3	1858.721	187.649	.000 ^a
	Residual	633.938	64	9.905		
	Total	6210.102	67			

a. Variables predictoras: (Constante), Sexo, MCT, EstaturaP

b. Variable dependiente: KMLG

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Intervalo de confianza para B al 95%	
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-37.581	10.316		-3.643	.001	-58.190	-16.972
	MCT	.310	.034	.423	9.183	.000	.242	.377
	EstaturaP	.380	.068	.347	5.612	.000	.245	.516
	Sexo	7.029	1.140	.368	6.169	.000	4.753	9.306

a. Variable dependiente: KMLG

ECUACIÓN 2

$$MLG = -13.496 - 0.651D + 4.117A + 6.758S \quad R^2=0.910; \text{SRMSE}=2.95 \text{ kg}$$

Donde: D=diámetro sagital abdominal (cm); A=área de superficie corporal (cm²) = 1/6 (peso (kg) x estatura (cm))^{0.5}; S= sexo (0:Mujer, 1:Hombre).

Tabla I.16 Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la ecuación 2

Resumen del modelo^a

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.954 ^a	.910	.906	2.949684

a. Variables predictoras: (Constante), Superficie del área corporal, DSAH, Sexo

b. Variable dependiente: KMLG

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	5653.262	3	1884.421	216.584	.000 ^a
	Residual	556.841	64	8.701		
	Total	6210.102	67			

a. Variables predictoras: (Constante), Superficie del área corporal, DSAH, Sexo

b. Variable dependiente: KMLG

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-13.496	4.490		-3.006	.004
	Sexo	6.758	.997	.354	6.780	.000
	DSAH	-.651	.156	-.217	-4.175	.000
	Superficie del área corporal	4.117	.334	.784	12.331	.000

a. Variable dependiente: KMLG

1.7 Análisis de validación de la ecuación de predicción

1.7.1 Gráfica convencional

De las **Figuras I.8** e **I.9**, se observa alta concordancia, ya que se aprecian los datos obtenidos por ambos métodos con una tendencia lineal.

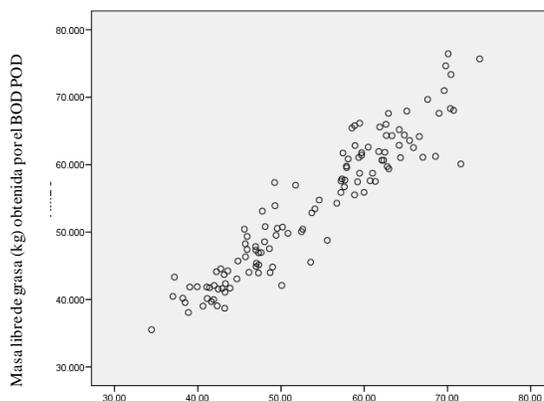


Figura I.8 Gráfica convencional de la variable masa libre de grasa (kg) obtenida a través de pletismografía por desplazamiento de aire comparada con la obtenida por la ecuación 1.

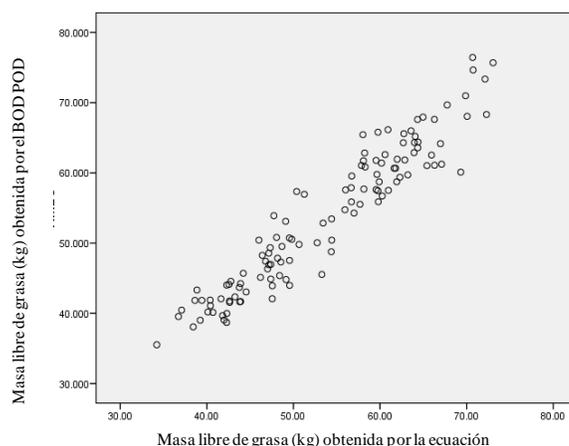


Figura I.9 Gráfica convencional de la variable masa libre de grasa (kg) obtenida a través de pletismografía por desplazamiento de aire comparada con la obtenida por la ecuación 2

1.7.2 Coeficiente de correlación (r)

En la **Tabla I.19** se aprecia que para las dos ecuaciones de predicción, el coeficiente de correlación es mayor que 0.94.

Tabla I.19 Coeficiente de correlación (r) entre la masa libre de grasa obtenida por el pletismógrafo por desplazamiento de aire y las ecuaciones de predicción resultantes.

Ecuación de Predicción de MLG	$r = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2AB}$
MLG = -37.581 + 0.310 W + 0.380 H + 7.029 S	0.944
MLG = -13.496 + .651 D + 4.117 A + 6.758 S	0.952

Donde: A es la desviación estándar del método A, B es desviación estándar del método B, C es desviación estándar de la diferencia entre los métodos A y B.

1.7.3 Coeficiente de determinación ajustado o corregido

De los resultados obtenidos en la **Tabla I.20**, se observa que el coeficiente de determinación corregido no difiere del coeficiente de determinación sin corrección, por lo que entonces no se atribuye un coeficiente de determinación artificialmente alto por la inclusión de muchas variables y pocos casos y se puede decir que el modelo es parsimonioso, es decir, que explica la mayor variabilidad de la variable independiente, pero con el menor número de parámetros posibles.

Tabla I.20 Coeficiente de determinación y coeficiente de determinación corregido para cada variable de predicción obtenida

Ecuación de Predicción de MLG	R^2	$R^2_{\text{corregida}} = R^2 - [p(1 - R^2)/(n - p - 1)]$
MLG = -37.581 + 0.310 W + 0.380 H + 7.029 S	0.898	0.893
MLG = -13.496 + 0.651 D + 4.117 A + 6.758 S	0.910	0.906

Donde: p es el número de parámetros

1.7.4 Determinación del coeficiente de Mallow (C_p)

De los resultados expuestos en la **Tabla I.21** se observa que las dos ecuaciones resultantes cumplen con el principio de parsimonia, obteniéndose un coeficiente de Mallow en los dos casos muy próximo al número de términos independientes.

1.7.5 Análisis del error puro

Tabla I.17 Análisis de coeficiente de Mallow para las dos ecuaciones obtenidas

Ecuación de Predicción de MLG	N	SSE_p	S^2	P	C_p
MLG = -37.581 + 0.310 W + 0.380 H + 7.029 S	68	633.938	9.905	4	4.002
MLG = -13.496 + 0.651 D + 4.117 A + 6.758 S	68	556.841	8.701	4	3.997

Donde: p es el número de parámetros, W es la masa corporal total, H es la estatura, S es el sexo, D es el diámetro sagital abdominal en posición decúbito supino y A es el área de superficie corporal

En la **Tabla I.22** se observa que el error puro obtenido al aplicarlo a la muestra de validación es pequeños para ambas ecuaciones.

Tabla I.22 Análisis comparativo de los errores RMSE y Error puro

Ecuación de Predicción de MLG	RMSE	Error Puro
MLG = -37.581 + 0.310 W + 0.380 H + 7.029 S	4.650	0.489
MLG = -13.496 + 0.651 D + 4.117 A + 6.758 S	2.865	0.300

Donde: p es el número de parámetros

1.7.6 Análisis de residuos

Como se observa en la **Figura I.10** de las gráficas de histograma de los residuos, la ecuación que presenta una distribución más aproximada a la normal es la ecuación 2, sin embargo la ecuación 1 también muestra una buena aproximación. En la **Figura I.11** se puede apreciar una mejor distribución de los errores estandarizados en relación con la mediana para la misma ecuación y finalmente en la **Figura I.12** se ve que la distribución de los errores alrededor de la media = 0 es buena para ambas ecuaciones.

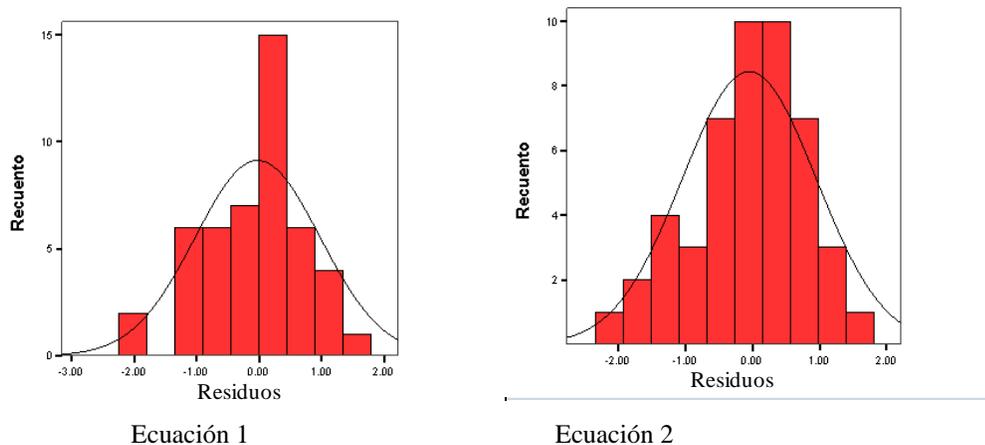


Figura I.10 Gráficas de histograma de los residuos estandarizados de las ecuaciones obtenidas.

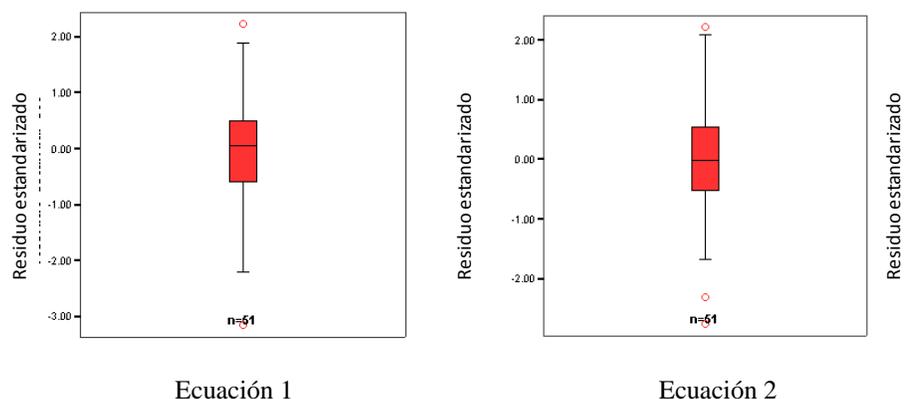


Figura I.11 Gráficas de caja y bigotes de los residuos estandarizados de las ecuaciones obtenidas

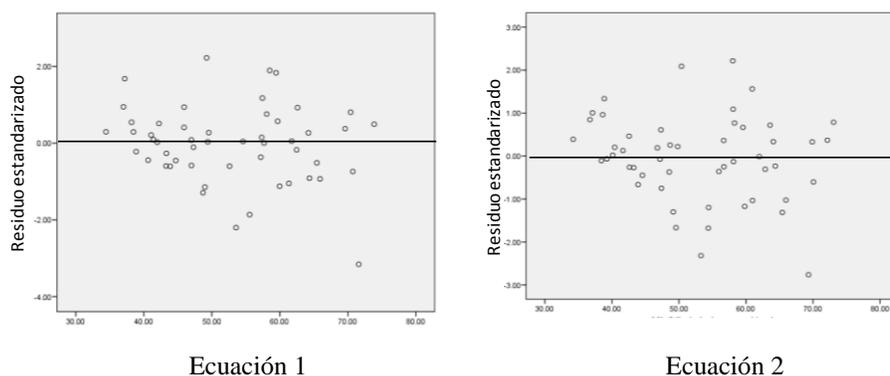


Figura I.12 Gráficas de dispersión de los residuos estandarizados de las ecuaciones obtenidas

1.7.7 Prueba *t* de Student

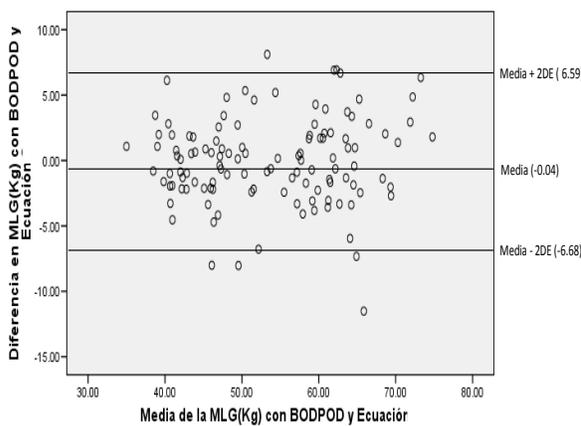
Se realizó una prueba *t* para muestras correlacionadas para evaluar si la masa libre de grasa obtenida por el método de pletismografía por desplazamiento de aire es semejante a la obtenida por las ecuaciones de predicción. Los resultados indicaron que no hay evidencia suficiente para decir que la media de la masa libre de grasa (MLG) obtenida por el método de pletismografía por desplazamiento de aire (Media = 52.67, DE=10.57, Error Típico=1.48) es diferente a la obtenida por la ecuación 2 (Media = 52.84, DE=10.62, Error

típico=1.48) $t_{(50)} = -.346$, $p=.731$ y ecuación 1 (Media = 52.77, DE=10.6, Error típico=1.48) $t_{(50)} = -.191$, $p=.850$. El intervalo de confianza del 95% para la diferencia media entre las dos mediciones es de -1.1009 a 0.7774 y -1.123 y 0.92 respectivamente.

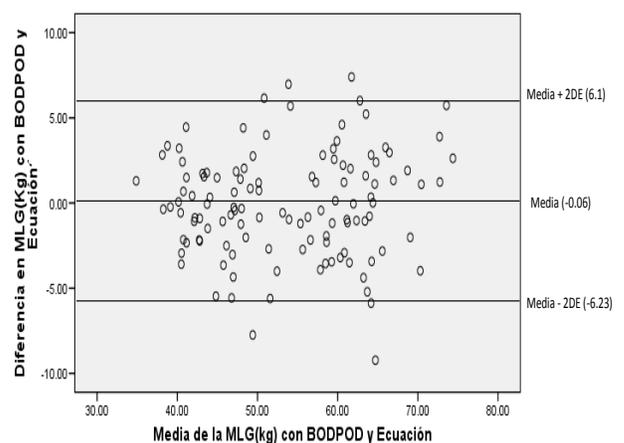
El resultado de la prueba t de Student pareada no arrojó diferencia significativa entre la media obtenida por el método de pletismografía por desplazamiento de aire utilizado como referencia y las ecuaciones resultantes, $p<0.05$.

1.7.8 Análisis de Concordancia

Del análisis Bland-Altman se observa en la **Figura I.13**, que el error se distribuye aleatoriamente dentro de los límites de confiabilidad , por lo que entonces las ecuaciones de predicción resultantes son confiables.



Ecuación 1



Ecuación 2

Figura I.13 Gráficos de Bland-Altman para las ecuaciones obtenidas

1.7.9. Coeficiente de concordancia y correlación (P_c)

Como se observa en la **Tabla I.23** el coeficiente de concordancia y correlación P_c es mayor a 0.9 en todos los casos, siendo el más alto el que corresponde a la ecuación 2.

Tabla I.23 Coeficiente de concordancia y correlación (P_c)

Ecuación de Predicción de MLG	$P_c = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{A^2 + B^2 + D^2}$
MLG = -37.581 + 0.310 W + 0.380 H + 7.029 S	0.944
MLG = -13.496 + 0.651 D + 4.117 A + 6.758 S	0.952

Donde: A es la desviación estándar del método A, B es desviación estándar del método B, C es desviación estándar de la diferencia entre los métodos A y B, y D es la diferencia del promedio de los métodos A y B.

1.7.10. Análisis de Sensibilidad y especificidad

Como se observa en el análisis de sensibilidad obtenido de los valores de la **Tabla I.24** la ecuación 1 muestra ser más sensible que el IMC y la ecuación 2.

$$\text{Análisis del IMC} \left\{ \begin{array}{l} \text{Sensibilidad} = \frac{46}{46 + 45} = 0.50 \\ \text{Especificidad} = \frac{25}{25 + 3} = 0.90 \end{array} \right.$$

$$\text{Análisis de la ecuación 1} \left\{ \begin{array}{l} \text{Sensibilidad} = \frac{8}{8 + 83} = 0.91 \\ \text{Especificidad} = \frac{14}{14 + 14} = 0.50 \end{array} \right.$$

$$\text{Análisis de la ecuación 2} \left\{ \right.$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{34}{34 + 57} = 0.63$$

$$\text{Especificidad} = \frac{24}{24 + 4} = 0.86$$

Tabla I.24 Clasificación de obesidad por el porcentaje de MG obtenido por PDA comparado con la clasificación basada en IMC y porcentaje de MG obtenido por las ecuaciones 1 y 2.

Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA

		Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA			
		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por IMC	No obesos	Recuento	25	45	70
		Porcentaje	35.7%	64.3%	100%
	Obesos	Recuento	3	46	49
		Porcentaje	6.1%	93.9%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA

		Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA			
		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por porcentaje de grasa Ecuación 1	No obesos	Recuento	14	8	22
		Porcentaje	63.6%	36.4%	100%
	Obesos	Recuento	14	83	97
		Porcentaje	14.4%	85.6%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA

		Clasificación por Porcentaje de grasa obtenido por PDA			
		No obesos	Obesos	Total	
Clasificación por porcentaje de grasa Ecuación 2	No obesos	Recuento	24	34	58
		Porcentaje	41.4%	58.6%	100%
	Obesos	Recuento	4	57	61
		Porcentaje	6.6%	93.4%	100%
	Total	Recuento	28	91	119
		Porcentaje	23.5%	76.5%	100%

Glosario

Adherencia. Acción y efecto de apegarse a los lineamientos establecidos en un protocolo o en el contexto de un estudio clínico.

Análisis bivariado. Metodología estadística por medio de la cual se deduce la relación que existe entre dos variables cuyos valores se han obtenido de una investigación.

Análisis multivariado. Técnica estadística utilizada cuando deben evaluarse simultáneamente los efectos de diversas variables. Como método analítico permite interpretar el efecto simultáneo de dos o más variables dependientes y ayuda a controlar las variables de confusión.

Análisis univariado. Método analítico para evaluar una sola variable de interés (variable dependiente) para la cual debe haber una o más variables explicativas (independientes).

Antropometría. Ciencia que tiene por objeto el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos del cuerpo humano.

Asociación. Hace referencia a la relación simple entre una variable independiente y la explicativa o entre una dependiente y la variable respuesta. No implica relación lineal o predictiva.

Coefficiente de correlación. Medida del grado de relación concomitante entre dos o más variables o entre dos o más series de datos, designado por la letra griega rho (ρ) o por r.

Concordancia. Grado de acuerdo, corregido por el efecto del azar, entre dos o más observaciones y entre dos o más observadores. Tipo de análisis que sirve para determinar si puede o no intercambiar un método diagnóstico por otro.

Confiabilidad. Reproducibilidad, capacidad de una prueba diagnóstica para obtener los mismos resultados en mediciones sucesivas en condiciones similares.

Consentimiento informado. Proceso originado en el derecho legal y ético que tiene un paciente de estar completamente informado para participar en las decisiones sobre las

alternativas en los cuidados en la salud que se le ofrecen. En el contexto de un experimento, este proceso exhorta a la libertad decisoria de participar o no en la investigación en la cual ha sido invitado.

Consistencia interna. El grado en el que un procedimiento, prueba o cuestionario obtiene igual resultado con la evaluación de una misma característica, habilidad o cualidad mediante dos o más preguntas o métodos. Homogeneidad.

Correlación. Cuando dos fenómenos sociales, físicos o biológicos crecen o decrecen de forma simultánea y proporcional debido a factores externos, se dice que los fenómenos están positivamente correlacionados. Si uno crece en la misma proporción que el otro decrece, los dos fenómenos están negativamente correlacionados. No es útil para evaluar si dos pruebas diagnósticas son intercambiables; en este caso se utiliza concordancia.

Criterios de exclusión. El listado de aspectos que hacen que quien haya cumplido los criterios de inclusión deba ser retirado del estudio. Se refiere a la presencia posterior de factores de riesgo para el sujeto o bien la ausencia de consentimiento informado. No son criterios opuestos a los de inclusión.

Criterios de inclusión. La definición en un proyecto de investigación del participante que puede ser aceptado. Habitualmente incluye edad, sexo, y la definición de la condición de interés, entre otros aspectos.

Definición operativa. Conjunto de criterios utilizado como definición temporal y para el estudio de que se trate.

Distribución normal. Distribución de datos en una forma acampanada, simétrica, unimodal, en las que las colas se extienden en un rango infinito y en la que la media, la moda y la mediana son idénticas.

Efectividad. El grado en que una intervención específica, cuando se aplica en circunstancias habituales, produce el efecto deseado.

Eficacia. El grado en que una intervención produce un efecto beneficioso bajo condiciones ideales, que se evalúa en sujetos absolutamente colaboradores.

Eficiencia. Poder y facultad para tener un efecto determinado con la mejor relación posible entre costos o riesgos y los beneficios.

Error tipo I. En la prueba de hipótesis ocurre cuando la hipótesis nula es rechazada de manera equivocada.

Error tipo II. En la prueba de hipótesis ocurre cuando la hipótesis nula se acepta cuando verdaderamente es falsa.

Error. Desviación de la verdad. La diferencia entre un resultado aproximado y el resultado verdadero.

Especificidad. Proporción de individuos sanos que tienen resultados verdaderos negativos.

Estadística. Disciplina o rama de las matemáticas que utiliza grandes conjuntos de datos numéricos para obtener inferencias basadas en el cálculo de probabilidades. Posee instrumentos y técnicas específicas orientadas a la recolección, organización y análisis cuantitativo de hechos o fenómenos observados.

Estándar de oro. La prueba diagnóstica mas definitiva para detectar una situación determinada (enfermedad o característica medible).

Estimador. Valor calculado a partir de datos de una muestra que se utiliza para dar información sobre un valor desconocido de la población. Por ejemplo, la media de la muestra es un estimador de la media de la población.

Estudio transversal. Tipo de estudio descriptivo utilizado para estimar ocurrencia, calculando la proporción de una población con enfermedad o factores de riesgo de la enfermedad o situación de interés.

Exactitud. El grado en que una medida o estimador, basado en mediciones, representa el valor real del atributo que se está midiendo.

Falso negativo. El individuo incorrectamente diagnosticado como no-caso (sano o sin la condición de interés) cuando en realidad si presenta la enfermedad o condición de interés.

Falso positivo. El individuo incorrectamente diagnosticado como caso (enfermo o con la condición de interés) cuando en realidad no presenta la enfermedad o condición de interés.

Formato de recolección. El registro de información pertinente recolectada en cada uno de los individuos que participan en una investigación.

Hipótesis. Un supuesto, aparente explicación de un grupo de fenómenos, base para avanzar en futuras investigaciones y sujeta a probarse en un experimento y/o mediante una prueba estadística.

Índices. Razón sistematizada de medidas que resume un valor representativo sobre pruebas realizadas en torno a un objeto de evaluación cuantitativa o cualitativa.

Inferencia estadística. Aplicación de los resultados de una muestra a la población para emitir juicios o conclusiones, basados en algún conocimiento o experiencia sobre un evento o suceso sobre esta población en general.

Intervalo de confianza. Rango de valores de una variable de interés construido de tal forma que especifica la probabilidad de incluir el verdadero valor de la variable.

Limpieza de datos. Proceso en el que, luego de la conversión de la información a un formato de almacenamiento utilizable por un computador, se hace un análisis descriptivo con el fin de detectar errores de transcripción o de codificación.

Medida de asociación. Forma de analizar los datos para evaluar si existe relación entre una exposición y un desenlace de interés y expresar en términos de suertes o riesgo el impacto que representa. Medidas de efectividad.

Medidas de dispersión. La variación entre los valores de una serie de datos constituye la dispersión. Cuando la dispersión es grande, los valores se distribuyen sobre un amplio rango mientras que si es pequeña se concentran. Medida que se describe como las observaciones individuales en una serie de datos se dispersan alrededor de la media.

Muestra. Un grupo de unidades seleccionadas de un grupo de mayor tamaño (población) en la que, cuando la selección es al azar (probabilística) se espera que las conclusiones sobre el grupo mayor sean válidas.

Nivel de significación. Valor en el que se fija la probabilidad de error tipo I (alfa) de rechazo erróneo de la hipótesis nula. Habitualmente expresada como valor de “p”, indica la probabilidad de que el resultado hallado pueda deberse al azar si no hay verdaderas diferencias.

Prueba de hipótesis. Evaluación de una teoría porque o bien se cree verdadera o bien es la base de la argumentación que no ha sido probada. Esencia de la inferencia estadística que resulta en rechazar la hipótesis nula a favor de la alterna o aceptar la nula.

Sensibilidad. Característica de captar los cambios ocurridos en la situación.

Sensibilidad. Proporción de individuos con una enfermedad que tiene un resultado verdadero positivo. Probabilidad de tener un resultado positivo en una prueba dado que se tiene la enfermedad o condición de interés.

Sesgo. Desviación sistemática de la verdad.

Significación estadística. Indicación por pruebas matemáticas de que la probabilidad de los resultados observados se deban al azar en menor de 5% ($p < 0.05$).

Validez externa. Grado en que los resultados de una investigación se mantienen válidos al aplicarse en otra población. Generalizabilidad.

Validez interna. Grado en que son válidos los resultados dentro del contexto de la calidad metodológica del estudio de donde se obtuvieron.

Validez. Característica de medir lo que se desea medir. Grado en que el resultado de una medición es más probable que sea verdadero y libre de error sistemático.

Valor p. la probabilidad de que el resultado o una más extremo observado en un estudio pueda haber ocurrido por el azar.

Variable de confusión. Variable conocida como potencial factor de riesgo para la enfermedad o condición de interés y que está asociado con la exposición principal pero que no resulta de ella, es decir que no está en la vía causal de la enfermedad o condición de interés. Modificador de efecto.

Malagón D. Cecilia,. Manual de antropometría. editor Kinesis, colección deporte y salud, Colombia, 2004.