



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS MÉDICAS,  
ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

**CAMPO DE CONOCIMIENTO: CIENCIAS DE LA SALUD  
DISCIPLINA EPIDEMIOLOGÍA**

**PREDICCIÓN DE MASA GRASA PARA EL DIAGNÓSTICO DE OBESIDAD  
EN ADULTOS DEL ESTADO DE HIDALGO: PROPUESTA DE UN  
MODELO MATEMÁTICO**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS**

PRESENTA

**LILIA VIRGINIA CASTRO PORRAS**

TUTOR

**DR. MALAQUÍAS LÓPEZ CERVANTES**  
FACULTAD DE MEDICINA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

**DR. MARIO E. ROJAS RUSSEL**  
FES ZARAGOZA, UNAM

**DRA. ÁNGELES AEDO SANTOS**  
FACULTAD DE MEDICINA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO  
DICIEMBRE DE 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Resumen

El uso del Índice de Masa Corporal (IMC) ha sido cuestionado en múltiples ocasiones, principalmente por su baja sensibilidad para el diagnóstico de obesidad. Este trabajo enfatiza la importancia de evaluar la masa grasa para el adecuado diagnóstico de la obesidad a partir de este componente como alternativa al diagnóstico basado en el IMC.

**Objetivos.** El propósito de este trabajo fue desarrollar una ecuación para la predicción de masa grasa en adultos basado en variables antropométricas de sencilla medición y evaluar su capacidad discriminante de la condición de obesidad. **Metodología.** Se hizo un estudio transversal que comprendió 275 individuos con edad entre 20 y 63 años. Para la validación de la ecuación se utilizó como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD®). Se realizaron mediciones de peso, la talla de pie y sentado, las circunferencias de cintura y cadera, los pliegues tricípital y subescapular y el diámetro abdominal sagital. Se hizo el análisis univariado y multivariado de las variables explicatorias y a partir de un análisis de regresión múltiple se obtuvo una ecuación de predicción para la masa libre de grasa (MLG); utilizando la estimación de este componente se calculó el porcentaje de masa grasa. Finalmente, a partir de un análisis discriminante se determinó la sensibilidad y especificidad del porcentaje de masa grasa obtenido.

**Resultados.** La ecuación de estimación de la masa libre de grasa utilizó el peso, la estatura y el sexo como variables predictoras. Al calcular el porcentaje de masa grasa a partir de esta estimación, se obtuvo una sensibilidad de 90.3% (IC<sub>95%</sub>: 86.8, 93.8) y una especificidad de 58.% (IC<sub>95%</sub>: 52.1, 63.8) para el diagnóstico de obesidad de acuerdo con el criterio de porcentaje de masa grasa; adicionalmente se clasificó correctamente a 93% de los individuos con obesidad y a 65% de los individuos sin obesidad. **Conclusiones.** El porcentaje de masa grasa estimado a partir de una ecuación de predicción para la MLG basada en mediciones antropométricas, podría ser utilizado como herramienta de tamizaje de obesidad en estudios epidemiológicos en poblaciones con similares características a los sujetos de la muestra.

Palabras clave: *Obesidad, Tamizaje, ecuación de predicción, medidas antropométricas, IMC*

## Abstract

The use of the Body Mass Index (BMI) has been questioned on many occasions, mainly due to its low sensitivity for the diagnosis of obesity. This study emphasizes the importance of assessing fat mass for the adequate diagnosis of obesity based on this component as an alternative to the diagnosis based on BMI. **Objectives.** The aim of this work was to develop a new equation for the prediction of fat mass in adults based on anthropometric variables of simple measurement and, to assess its ability to discriminate obesity condition. **Methodology.** This is a cross-sectional study of 275 individuals aged between 20-63 years old. For the validation of the equation, air displacement plethysmography (BOD POD®) was used as reference method. Measurements of weight, standing and sitting size, waist and hip circumferences, triceps and subscapular folds and sagittal abdominal diameter were performed. Univariate and multivariate analyzes of the explanatory variables were executed. A multiple regression analysis was estimated to compute the fat free mass equation and from the estimation of this component the percentage of fat mass was calculated. Finally, from a discriminant analysis the sensitivity and specificity of the percentage of fat mass obtained was determined. **Results.** Fat-free mass prediction equation used weight, height, and sex as predictor variables. When calculating the percentage of fat mass from this estimate, a sensitivity of 90.3% (95% CI: 86.8, 93.8) and a specificity of 58% (95% CI: 52.1, 63.8) were obtained for the diagnosis of obesity according to the criterion of percentage of fat mass; Furthermore, 93% of individuals with obesity and 65% of individuals without obesity were correctly classified. **Conclusions.** Fat mass percentage estimated by this anthropometry-based equation can be used as a screening tool in clinical and epidemiological studies in population with similar characteristics to the subjects of the sample.

Keywords: *Obesity, Screening, Prediction equation, anthropometric measurements, BMI*

## Índice

	Pág.
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>3</b>
2.1 <i>Epidemiología de la obesidad.....</i>	<i>3</i>
2.2 <i>El Índice de Masa Corporal.....</i>	<i>4</i>
2.3 <i>Métodos de estudio de la composición corporal.....</i>	<i>5</i>
2.4 <i>Métodos de medición de masa grasa.....</i>	<i>6</i>
2.5 <i>La pletismografía por desplazamiento de aire.....</i>	<i>8</i>
2.6 <i>Técnicas antropométricas.....</i>	<i>10</i>
2.7 <i>Ecuaciones de predicción de composición corporal.....</i>	<i>14</i>
<b>3. Planteamiento del problema.....</b>	<b>18</b>
<b>4. Justificación .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Hipótesis.....</b>	<b>20</b>
<b>6. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
6.1 <i>Objetivo general .....</i>	<i>21</i>
6.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>21</i>
<b>7. Metodología.....</b>	<b>22</b>
7.1 <i>Tipo de diseño. ....</i>	<i>22</i>
7.2 <i>Periodo y lugar de estudio .....</i>	<i>22</i>
7.3 <i>Sujetos .....</i>	<i>22</i>
7.3.1 <i>Criterios de Inclusión.....</i>	<i>22</i>
7.3.2 <i>Criterios de Exclusión.....</i>	<i>22</i>
7.4 <i>Tamaño de muestra .....</i>	<i>23</i>
7.5 <i>Forma de reclutamiento.....</i>	<i>24</i>
7.6 <i>Variables .....</i>	<i>24</i>
7.7 <i>Métodos de medición .....</i>	<i>25</i>
7.8 <i>Método de análisis estadístico .....</i>	<i>26</i>
7.9 <i>Aspectos éticos .....</i>	<i>27</i>
<b>8. Resultados .....</b>	<b>29</b>
<b>9. Discusión.....</b>	<b>34</b>
<b>10. Conclusiones .....</b>	<b>38</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>39</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>41</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>47</b>

## Lista de cuadros

		Pág.
<b>Cuadro 1</b>	Ecuaciones de estimación de porcentaje de masa grasa disponibles en el BOD POD	10
<b>Cuadro 2</b>	Cambios en la composición corporal con la edad y su impacto en las medidas antropométricas	12
<b>Cuadro 3</b>	Método de Durnin y Womersley para el cálculo de grasa y masa corporal libre de grasa	16
<b>Cuadro 4</b>	Antropometría y otras características de las muestras (N=275)	29
<b>Cuadro 5</b>	Clasificación de obesidad de acuerdo al porcentaje de masa grasas e IMC por sexo	30
<b>Cuadro 6</b>	Análisis de concordancia para el diagnóstico de obesidad por el criterio de porcentaje de grasa corporal entre el porcentaje estimado a partir de la ecuación de predicción de MLG y el calculado por el BOD POD	31
<b>Cuadro 7</b>	Masa libre de grasa y masa grasa en kilogramos y porcentaje de masa grasa estimado a partir de la ecuación desarrollada y del BOD POD (N=135)	32
<b>Cuadro 8</b>	Análisis de Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo y Valor Predictivo Negativo para el diagnóstico de Obesidad por el IMC y el porcentaje de grasa estimado por la ecuación desarrollada utilizando el BOD POD como método de referencia en ambos casos	33

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1</b> Tasas de crecimiento de sobrepeso y obesidad en adultos de 15 a 74 años	3
<b>Figura 2</b> Correlación estratificada por sexo entre el porcentaje de grasa obtenido por el BOD-POD y el IMC para sujetos entre 18 y 74 años.	4
<b>Figura 3</b> Niveles para el estudio de la composición corporal	5
<b>Figura 4</b> Análisis discriminante de obesidad utilizando el porcentaje de grasa estimado	33

## Lista de siglas y abreviaturas

D	Densidad
DAS	Diámetro Abdominal Sagital
DXA	Absorciometría Dual de Rayos X
E	Estatura
ENSANUT 2012	Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012
IC	Intervalo de Confianza al 95%
ICSa	Instituto de Ciencias de la Salud
IMC	Índice de Masa Corporal
MG	Masa Grasa
MLG	Masa Libre de Grasa
MCT	Masa Corporal Total
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Peso
PDA	Pletismografía por Desplazamiento de Aire
UAEH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
V	Volumen
VIF	Variance Inflation Factors <i>por sus siglas en inglés</i>



## 1. Introducción

La obesidad ha alcanzado proporciones epidémicas a nivel mundial, y cada año mueren más de 2,8 millones de personas a causa del sobrepeso o la obesidad. Anteriormente era un problema confinado a los países de altos ingresos, sin embargo, en la actualidad la obesidad también es prevalente en los países de ingresos bajos y medianos <sup>[1]</sup>.

Cada vez se observan más poblaciones enfrentando problemas de malnutrición tanto por carencia como por exceso de energía o nutrientes o por ambos. Situación que provoca dos tipos de afecciones, por una parte la desnutrición que comprende el retraso del crecimiento (estatura inferior a la que corresponde a la edad), la emaciación (peso inferior al que corresponde a la estatura), la insuficiencia ponderal (peso inferior al que corresponde a la edad) y las carencias o insuficiencias de micronutrientes (falta de vitaminas y minerales importantes). Por otra parte, las afecciones del sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles relacionadas con el régimen alimentario (cardiopatías, accidentes cerebrovasculares, diabetes y cánceres) <sup>[2]</sup>.

Un aspecto trascendental en el análisis del comportamiento epidemiológico del sobrepeso y la obesidad es el fenómeno denominado transición nutricia, el cuál se considera como el proceso de cambio en los patrones alimentarios y los estilos de vida indisolublemente vinculados con la globalización <sup>[3]</sup>. Entre éstos, resalta la disminución de actividad física. Enmarcada en el rápido desarrollo de la tecnología, el transporte y las comunicaciones, que además han originado que sentarse se convierta en la postura más común en el lugar de trabajo, en el desarrollo de las actividades recreativas y en los desplazamientos diarios. Situación que sin lugar a dudas está fuertemente asociado con la obesidad, tanto en niños como en adultos <sup>[4-6]</sup>.

Wang *et al.* <sup>[7]</sup> utilizando datos provenientes de encuestas nacionales de los Estados Unidos realizadas entre los años 1970 y 2004, estimaron que la prevalencia de obesidad en adultos para el año 2030 será de 51.1% y la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad será de 86.3%. Sus proyecciones para la población mexicana residente en los Estados Unidos son más alarmantes, ya que estiman una prevalencia combinada superior a 90%. Los resultados

de su análisis indican que todos los adultos estadounidenses estarían en condición de sobrepeso u obesidad para el año 2048.

El Índice de Masa Corporal (IMC) se utiliza ampliamente en estudios epidemiológicos y se ha incorporado a la práctica clínica debido a su sencillez. Sin embargo, una deficiencia importante de éste surge porque no distingue entre la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG). En las últimas décadas, varios estudios han analizado el desempeño del IMC para detectar adiposidad corporal comparándolo con resultados de métodos de referencia reconocidos para medir la composición corporal. Los resultados de estos estudios han sido diversos, algunos muestran un buen rendimiento de diagnóstico y otros muestran una baja sensibilidad del IMC para detectar altos niveles de adiposidad. Otros estudios han sugerido que muchos estudios epidemiológicos no han podido mostrar un mayor riesgo de eventos adversos en personas con sobrepeso en comparación con los individuos de peso normal y que estos resultados pueden ser explicados por la limitada capacidad del IMC para diferenciar la MG de la MLG en diferentes poblaciones<sup>[8]</sup>.

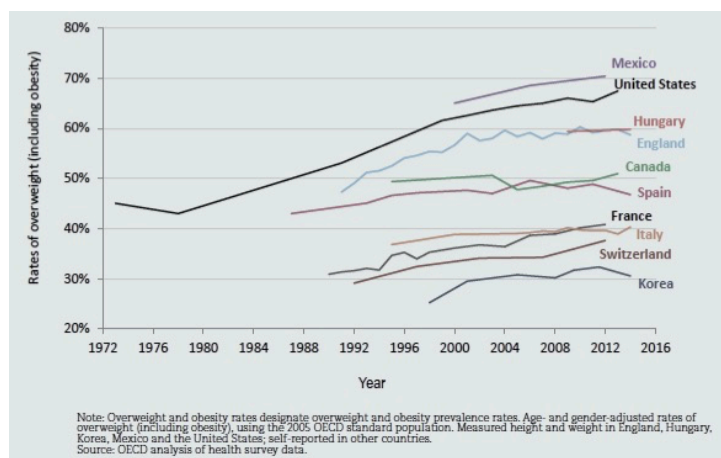
Estos datos presentan un problema de salud al que se debe poner especial cuidado en todos sus aspectos, iniciando por la correcta medición y clasificación de la obesidad. Este trabajo plantea una alternativa al IMC, propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y utilizado internacionalmente para clasificar a la obesidad<sup>[9]</sup>.

La propuesta consiste en el desarrollo y validación de un modelo predictivo de masa libre de grasa (MLG) en adultos, basado en variables de sencilla medición y que permita estimar el porcentaje de grasa. Se utiliza una muestra de sujetos con varias mediciones antropométricas obtenidas en una sola ocasión *ex profeso* para el desarrollo de la ecuación. La validación del modelo se hizo utilizando como método de referencia la pletismografía por desplazamiento de aire (PDA).

## 2. Marco teórico

### 2.1 Epidemiología de la obesidad

La OMS <sup>[10]</sup> define a la obesidad como una enfermedad que se caracteriza por un exceso de grasa que puede ser dañina para la salud. El 19.5% de los adultos que residen en los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) se encuentran en situación de obesidad (Figura 1)<sup>[11]</sup>



**Figura 1.** Tasas de crecimiento de sobrepeso y obesidad en adultos de 15 a 74 años

Fuente: OCDE. *Obesity update 2017* <sup>[11]</sup>

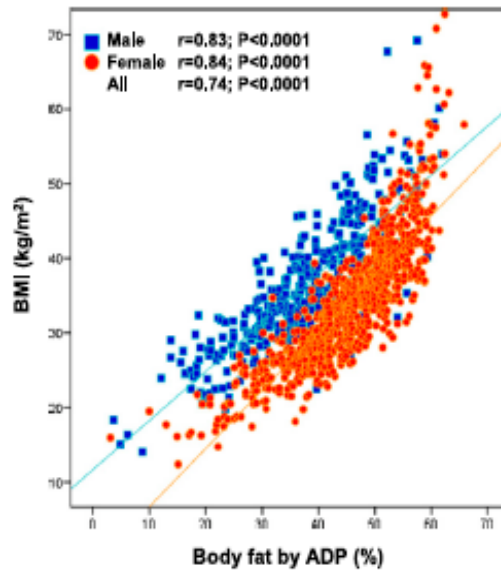
En México, los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del 2012 (ENSANUT 2012), arrojaron datos en los que tres de cada 10 sujetos de 20 años o más se encuentran en situación de obesidad. La prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad representa un incremento de 15% desde el año 2000, lo que coloca a los mexicanos con uno de los crecimientos más acelerados en términos de sobrepeso y obesidad en la última década<sup>[12]</sup>.

La obesidad es un problema de salud pública, ya que representa una carga muy importante para la persona que la padece, su familia y la sociedad en su conjunto. Para México, la carga económica se ha estimado en 1 700 millones de dólares americanos para el año 2050 considerando 13 enfermedades asociadas con la obesidad<sup>[13]</sup>. Esta enfermedad, en

aparición silenciosa, merma la calidad de vida que afecta desde la autoestima hasta la vida misma<sup>[14]</sup>; es causa de empobrecimiento porque disminuye la productividad laboral y provoca gastos catastróficos en salud, relacionados con enfermedades crónicas<sup>[15]</sup>.

## 2.2 El Índice de Masa Corporal

El IMC es un indicador de gran aceptación para el diagnóstico de desnutrición calórico-proteica y obesidad<sup>[16]</sup>. Se ha encontrado que existe una fuerte asociación con tendencia curvilínea entre el IMC y la grasa corporal<sup>[17]</sup> (Figura 2); e igualmente se ha reportado que la variación individual es amplia y algunos sujetos pueden clasificarse de manera equivocada en desnutrición u obesidad<sup>[18]</sup>, por lo que es posible encontrar dos personas con el mismo valor de IMC pero diferente porcentaje de grasa corporal.



**Figura 2.** Correlación estratificada por sexo entre el porcentaje de grasa obtenido por el BOD POD y el IMC para sujetos entre 18 y 74 años.

Fuente: Gómez Ambrosi et al., 2012<sup>[17]</sup>

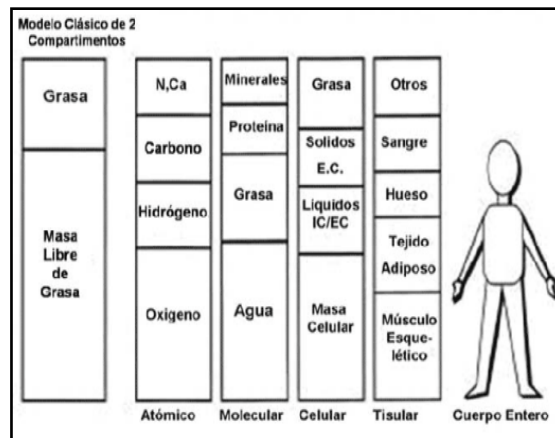
En estudios enfocados en la asociación entre la morfología y el IMC<sup>[19]</sup> se ha reportado que personas con piernas cortas para su estatura tienen valores más altos de IMC, independientemente de su proporción de grasa<sup>[18]</sup>.

Se hicieron intentos de modelos estimativos en población holandesa 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<sup>[19]</sup>.

### 2.3 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; sin embargo, éste no es un método posible en la práctica clínica.

Durante el siglo pasado se definieron muchos componentes con diferentes nombres para el estudio de la composición corporal; sin embargo, actualmente se reconoce de manera universal el modelo de cinco niveles de Wang *et al.*<sup>[20]</sup> por ser uno de los modelos más completos (Figura 3).



**Figura 3.** Niveles para el estudio de la composición corporal

Fuente: Wang *et al.*, 1992 <sup>[20]</sup>

Existen diferentes premisas y de acuerdo con 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.

## 2.4 Métodos de medición de masa grasa

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<sup>[21]</sup>, impedancia bioeléctrica<sup>[22]</sup>, absorciometría dual de rayos X (DXA)<sup>[23]</sup>, conteo de potasio corporal total<sup>[16]</sup>, 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 MLG tiene una hidratación promedio de 73% ( $ACT/MLG=0.73$  o  $MLG= ACT/0.73$ ). De esta forma, es posible estimar la MLG y la MG (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<sup>[16]</sup>.

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 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<sup>[16]</sup>.

Gallagher *et al.* en 1996, 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 adultos de raza blanca o negra<sup>[24]</sup>.

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 <sup>40</sup>K, 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<sup>[25]</sup>.

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<sup>[26]</sup>.

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 (D<sub>2</sub>O), la pletismografía por desplazamiento de aire (PDA), 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<sup>[27]</sup>.

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<sup>[28]</sup>.

## **2.5 La pletismografía por desplazamiento de aire**

El avance tecnológico permite la incorporación de nuevos instrumentos para la determinación de masa grasa, entre los que se encuentra pletismografía por desplazamiento de aire, con el BOD POD<sup>[29][30]</sup>.

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)<sup>[31]</sup>. 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:  $V/P = k$ <sup>[32]</sup>.

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<sup>[29]</sup>. 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<sup>[33]</sup> 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<sup>[34]</sup>.

De acuerdo con Dempster y Aitkens en 1995, 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<sup>[31]</sup>.

El Pletismógrafo es un equipo ampliamente probado en el campo que ofrece buenos resultados<sup>[29,35-38]</sup> y que ha sido evaluado en población con obesidad obteniendo resultados confiables<sup>[39]</sup>. Hay diversas ecuaciones disponibles mediante el software del BOD POD (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Ecuaciones de estimación de porcentaje de masa grasa 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

<sup>1</sup> DC Densidad corporal; <sup>2</sup> C1 y C2 son constantes basadas en la edad y género

Fuente: Manual del proveedor del equipo BOD POD

Alemán-Mateo en 2007 validó 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<sup>[40]</sup>.

## 2.6 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<sup>[41]</sup>.

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<sup>[16]</sup>. Es importante destacar que ni las variables antropométricas ni las variables de composición corporal se miden con una precisión exacta<sup>[42]</sup>.

## 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<sup>[41]</sup>.

## Peso

El peso o masa corporal es la suma de todos los componentes en cada nivel de composición<sup>[16]</sup>. 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<sup>[41]</sup>.

## Talla

La 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<sup>[43]</sup>.

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 *et al.*<sup>[44]</sup> 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 *et al.*<sup>[45]</sup> 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.

## 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<sup>[41]</sup>.

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<sup>[46]</sup>. El contenido de agua corporal disminuye paulatinamente con la edad, pasando de 86% a las 24 semanas de gestación, a 73% en el adulto joven, llegando a ser aún menor en el anciano<sup>[41]</sup>.

La mayor parte de la pérdida de masa libre de grasa se explica por la disminución del músculo esquelético y de las vísceras. Los cambios en la composición corporal con la edad afectan las medidas antropométricas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Cambios en la composición corporal con la edad y su impacto en las medidas antropométricas

Medida antropométrica	Cambio en la composición corporal
Peso	El valor de la población promedio aumenta hasta el quinto decenio y luego alcanza una meseta o disminuye.
Talla	Disminuye en 1 a 3 cm por cada 20 años después de la madurez; la velocidad de declive depende de la raza y el sexo.
Masa grasa	Aumenta con la edad como porcentaje del peso; hay una redistribución de la grasa subcutánea a la grasa interna y entre los diferentes sitios subcutáneos.
Masa libre de grasa	Disminuye como porcentaje del peso, sobretodo 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.
Pliegues	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)*

## 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. La evaluación del grosor de los pliegues es una medición aislada, no es un buen factor predictivo 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)<sup>[16]</sup>.

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 procedimientos rigurosos. 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.

#### Circunferencia de cintura

Su asociación con factores de riesgo cardiovascular y la correlación fuerte con el área de grasa visceral medida por tomografía computarizada del orden de 0.73 a 0.8, son características que lo volvieron el indicador de adiposidad abdominal más utilizado. Valores de 88 y 102 cm son utilizados para el diagnóstico de obesidad abdominal en mujeres y hombres, respectivamente.

Aunque la circunferencia de cintura (CC) sea ampliamente utilizado, hay diferentes técnicas de medición. Esto es una limitante ya que no hay consenso entre investigadores y protocolos publicados. Entre las técnicas de medición más utilizadas están el punto medio entre la cresta iliaca y la última costilla; la menor cintura entre el tórax y la cadera; el nivel inmediatamente encima de las crestas iliacas y el nivel umbilical.

La CC ha sido utilizada en la determinación del riesgo de enfermedades cardiovasculares y sus factores de riesgo. Cinturas estrechas y caderas anchas están asociadas a la protección contra enfermedades cardiovasculares<sup>[47]</sup>.

### Diámetro abdominal sagital

El diámetro abdominal sagital (DAS) representa la altura abdominal, comprendiendo la distancia entre la espalda y el abdomen. Puede ser medido con el individuo de pie o en la posición supina, siendo esta última la posición más utilizada.

En la posición supina, el tejido adiposo visceral tiende a elevar la pared abdominal en la dirección sagital, y el tejido adiposo abdominal subcutáneo anterior o lateral comprime el abdomen, o tiende a descender hacia los lados debido a la fuerza de la gravedad. Así, se espera que el DAS medido en la posición supina refleje principalmente el volumen de tejido adiposo visceral.

El lugar anatómico utilizado para la medición diverge entre los estudios, siendo utilizada la menor cintura entre el tórax y la cadera; la mayor altura abdominal; la cicatriz umbilical el punto medio entre la última costilla y la cresta ilíaca; y el punto medio entre las crestas ilíacas. Este último coincide con la ubicación de las vértebras lumbares L4 y L5, el lugar más utilizado por las técnicas de imagen para cuantificación del área de tejido adiposo visceral y, tal vez, el más indicado para la medición del DAS.

La medición del DAS puede ser realizada por antropometría con el auxilio de un sagitómetro abdominal, o por técnicas de imagen, como la tomografía computarizada o la imagen de resonancia magnética, pues varios estudios demostraron fuerte correlación entre ambas técnicas. El DAS ha sido recomendado como indicador de deposición de grasa abdominal visceral y de evaluación del riesgo cardiovascular<sup>[47]</sup>.

### **2.7 Ecuaciones de predicción de composición corporal**

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 para evaluar la composición corporal. Se trata de métodos validados a su vez con métodos indirectos. Ejemplo de ello son las ecuaciones desarrolladas por Durnin y

Womersley<sup>[48]</sup> 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.

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. Las fórmulas de predicción son específicas para una población y 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 (Cuadro 3) con el peso bajo el agua como criterio para estimar la grasa<sup>[48]</sup>, 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.

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 se han planteado 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<sup>[49]</sup>. 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<sup>[50]</sup>.

**Cuadro 3.** 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 ( $\Sigma$ ) 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 reimpreso a partir de Wright RA, Heymsfield SB (eds.) *Nutritional assessment*. Boston: Blackwell Scientific, 1984.

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<sup>[51]</sup>. En México se han desarrollado ecuaciones para población mexicana de niños<sup>[52]</sup>,



adultos<sup>[53]</sup> y para adultos mayores de 60 años<sup>[54]</sup>, obteniéndose que algunas ecuaciones estimativas pueden ser aplicadas en población adulta con buenos resultados estimativos. También se han diseñado ecuaciones que incorporan la diversidad étnica<sup>[55][56]</sup> 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<sup>[57]</sup>.

### 3. Planteamiento del problema

La obesidad *per se* es una enfermedad y está asociada con otras de tipo crónico tales como diabetes tipo 2, hipertensión, diferentes tipos de cáncer y dislipidemias. Debido a su alta prevalencia y a su creciente tendencia, está situada entre los principales problemas de salud pública a nivel nacional.

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.

La herramienta de diagnóstico de obesidad actual más utilizada es el IMC, principalmente por su facilidad de cálculo. Sin embargo, es un indicador que se ha reportado como poco sensible para el diagnóstico de obesidad cuando se compara con el porcentaje de grasa.

Esta situación da origen a que se plantee la siguiente pregunta de investigación ¿La estimación del porcentaje de masa grasa a partir de una ecuación de predicción de masa libre de grasa será significativamente más precisa comparada con el IMC, cuando se realiza el diagnóstico de obesidad a partir del porcentaje de grasa corporal?

#### 4. Justificación

Actualmente no se cuenta con herramientas para la estimación del porcentaje de grasa corporal en adultos, que sean tan sencillas de calcular como el IMC y que ofrezcan una alternativa válida y confiable.

Una ecuación de predicción del porcentaje de grasa corporal podría ser de gran apoyo tanto en la práctica clínica como para la población en general. Sin embargo, debido a que las ecuaciones predictivas son válidas para la población a partir de la cual fueron desarrolladas, es necesario validarlas.

Una ecuación validada es de posible interés para ser utilizada como herramienta de tamizaje y a pesar de que el presente trabajo este basado en una muestra no representativa de la población adulta mexicana, los hallazgos podrían fijar la base para otros estudios.

## 5. Hipótesis

Cuando se realiza el diagnóstico de obesidad a partir del porcentaje de grasa corporal, la estimación de éste a partir de una ecuación de predicción de masa libre de grasa es significativamente más precisa comparada con el IMC.

## 6. Objetivos

### 6.1 Objetivo general

Desarrollar una nueva ecuación para la predicción de MG en adultos basado en variables antropométricas de sencilla medición y evaluar su capacidad discriminante de la condición de obesidad

### 6.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar una ecuación a partir de medidas antropométricas sencillas de obtener como predictores de la MLG en adultos.
2. Determinar el grado de exactitud, precisión y posible sesgo de la ecuación obtenida utilizando el BOD POD como método de referencia.
3. Estimar el porcentaje de MG a partir de la ecuación de MLG desarrollada y hacer el análisis de sensibilidad y especificidad utilizando el BOD POD como método de referencia.
4. Comparar la capacidad diagnóstica para obesidad del IMC con el porcentaje de MG estimado a partir de la ecuación de predicción desarrollada, utilizando como método de referencia el porcentaje de grasa obtenido por el BOD POD.

## 7. Metodología

Se presenta una propuesta de un modelo predictivo de MLG en adultos basado en variables antropométricas, a partir del cual se estima el porcentaje de MG. Por tanto, se evalúa su capacidad predictiva, la relevancia de los predictores que lo componen, su ajuste y posible sesgo. La finalidad de esta estimación es el diagnóstico de la obesidad en adultos, por ello se evalúa la sensibilidad, especificidad y capacidad diagnóstica.

### 7.1 Tipo de diseño.

Estudio transversal.

### 7.2 Periodo y lugar de estudio

El estudio se llevó a cabo entre los meses de noviembre y diciembre de 2014 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.

### 7.3 Sujetos

#### 7.3.1 Criterios de Inclusión

- Personas entre 20 y 65 años que deseen participar.
- 12 horas de ayuno, no haber ingerido bebidas alcohólicas 24 horas antes de la medición.
- No haber realizado ejercicio extenuante 12 horas previo al estudio.

#### 7.3.2 Criterios de Exclusión

- Enfermedades referenciadas por el sujeto que alteren el volumen corporal (signo de edema o deshidratación), así como claustrofobia. Esta se evaluó a través de pregunta

directa dirigida en el momento de la invitación y nuevamente se cuestionó antes de iniciar el estudio, quedando sus respuestas por escrito como parte del instrumento de recolección de datos (Anexo A).

- 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 interfieran con la composición corporal, referidos por el sujeto cuando se le cuestionó.
- Sujetos que por situaciones especiales comprometan la precisión de la medición (barba abundante, uso de prótesis, amputación de alguna parte de su cuerpo).
- En caso de las mujeres se cuidó que no estuvieran menstruando ni embarazadas o en periodo de lactación, y en caso de haber tenido hijos que el último haya nacido hace más de un año. Este requisito se evaluó a través de pregunta directa elaborada al momento de la invitación y se preguntó nuevamente antes de iniciar el estudio, formando parte del instrumento de recolección de datos.

#### 7.4 Tamaño de muestra

Se calculó el tamaño de muestra para un estudio de concordancia para identificar la intercambiabilidad entre dos sistemas de medición. Los resultados considerados fueron: sujeto con o sin diagnóstico de obesidad a partir del porcentaje de masa grasa. El primer método usado fue la estimación del porcentaje de grasa a partir de la ecuación de predicción para la MLG basada en mediciones antropométricas y como segundo método, el porcentaje de grasa medido con el BOD POD como método de referencia.

**Cuadro 4.** Fórmula para el cálculo del tamaño de muestra para un estudio de concordancia.

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

Fuente: Ruiz A. y Morillo L.<sup>[58]</sup>

El cálculo dio como resultado 119 (Anexo B) y se basó en los supuestos:

$P_c$  = Coeficiente de concordancia y correlación mínimo requerido = 0.90

$\pi$  = Diferencia porcentual esperada del verdadero valor de  $P_c$  = 5%

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

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

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

El cálculo final del tamaño de muestra fue de 132 sujetos, ajustando para considerar una tasa de no respuesta del 5%.

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

donde:

n = tamaño de muestra estimado sin ajustar = 119

X = proporción de pérdida = 5%

nn = tamaño de muestra ajustado

### 7.5 Forma de reclutamiento

El muestreo se realizó por conveniencia. De la cohorte del proyecto "Determinación de prevalencia de hígado graso del municipio de Emiliano Zapata en el Estado de Hidalgo" que inició en el año 2012 y que en la fecha de reclutamiento de este estudio contaba con 1100 sujetos, se invitó por escrito a participar de manera voluntaria. En la invitación se enfatizó que se trataba de un proyecto adicional a la cohorte y que el propósito fue la evaluación de grasa corporal. Aquellos sujetos que aceptaron fueron consultados en cuanto a su disponibilidad y se programó su participación.

### 7.6 Variables

Se consideró a la MG y a la MLG como posibles variables dependientes. El grupo de variables independientes estudiadas fueron: sexo, edad, peso, talla de pie y sentado,



circunferencias de cintura y cadera, pliegues tricípital y subescapular y diámetro abdominal sagital. La operacionalización de las variables se encuentra en el Anexo C.

### **7.7 Métodos de medición**

#### ***Antropometría***

La talla de pie se midió sin zapatos usando un estadiómetro (SECA, Hamburgo, Alemania) a los 0,1 cm más cercanos; el peso corporal se midió con ropa ligera sin zapatos utilizando la báscula digital del BOD POD; la circunferencia de la cintura (CC) se midió entre el margen costal inferior y la cresta ilíaca, con el sujeto en posición de pie mientras tenían una respiración mínima, se utilizó una cinta métrica flexible e inelástica (Rosscraft Innovation Incorporated, Canadá) y la medida se tomó con precisión de 0,1 cm; el grosor de los pliegues cutáneos de tríceps y subescapular se midió con un plicómetro marca Harpenden (British Indicators, Burgess Hill, Reino Unido) y se calculó según la fórmula de Durnin y Womersley<sup>[48]</sup>; el diámetro abdominal sagital (DAS) se midió con precisión de 0.1 cm y después de una exhalación normal mientras los sujetos estaban en decúbito supino en una mesa de exploración firme, la medición se realizó a nivel del ombligo usando el calibrador abdominal Holtain-Kahn (Holtain Ltd, Crymych, Reino Unido), que cuenta con una pinza de haz deslizante portátil. Todas las medidas se tomaron en el lado derecho del cuerpo y cada una se repitió dos veces, el personal bien entrenado realizó todas las mediciones. El índice de masa corporal (IMC) se calculó como peso (kg)/estatura (m<sup>2</sup>) y se clasificó según las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>[10]</sup>.

#### ***Porcentaje de masa grasa***

Para medir el porcentaje de MG y MLG se utilizó el método de pletismografía de desplazamiento de aire (BOD POD® fabricado por Life Measurement Instruments, Concord, CA, EE. UU.). Fields *et al.*<sup>[35]</sup> validaron el BOD POD como un procedimiento confiable para evaluar la composición corporal en una amplia gama de tipos de sujetos, incluso aquellos difíciles de medir, como los ancianos, los niños y las personas con obesidad. El BOD POD se considera un método de referencia y se ha descrito previamente en detalle<sup>[29]</sup>. Antes de la medición, el instrumento se calibró según lo recomendado por el

fabricante y los procedimientos de prueba. Los sujetos ingresaron al BOD POD® con un traje de baño o ropa interior ajustada, gorro de baño y sin joyas. Después del procedimiento de calibración, se midió el volumen corporal de los participantes en posición sentada sin moverse con la espalda en una postura erecta y respiración normal, también se les indicó que colocaran las manos en los muslos y los pies puestos en el suelo de la cámara del BOD POD. El volumen del gas torácico fue estimado por el BOD POD y el porcentaje de MG se derivó usando la fórmula de Siri<sup>[59]</sup> para todos los participantes.

### *7.8 Método de análisis estadístico*

La muestra se dividió en dos grupos aleatorios de aproximadamente igual tamaño, uno se utilizó para el desarrollo de la ecuación de predicción y el otro para la validación.

Se usaron estadísticas descriptivas para caracterizar las variables antropométricas y de composición corporal y se informaron como medias  $\pm$  desviaciones estándar. Las diferencias entre las muestras de desarrollo y validación se probaron con la prueba de Chi cuadrado para las variables dicotómicas. Se usó la prueba de t de Student para el caso de datos con distribución normal y la prueba de U de Mann-Whitney para el caso de datos sesgados. Se calculó la correlación entre las variables explicativas.

La normalidad de las variables continuas se evaluó a través de la prueba de Shapiro-Wilk y el gráfico Q-Q. El desarrollo de la ecuación de predicción se hizo a partir de regresiones lineales múltiples. Se estimaron ecuaciones considerando la masa grasa o la masa libre de grasa como variables dependientes. Las variables explicativas o predictoras evaluadas en el modelo fueron: edad, sexo, peso corporal, estatura, IMC, diámetro abdominal sagital, circunferencia de la cintura y los pliegues cutáneos tricípital y subescapular.

Se obtuvieron varios modelos de este proceso. El modelo elegido fue el que tuvo el valor más alto del coeficiente de determinación  $R^2$ . La multicolinealidad se evaluó con el cálculo del factor de inflación de varianza (VIF). Se verificó la homocedasticidad y la distribución normal de los residuos de las regresiones lineales múltiples.

Se utilizó el gráfico Bland-Altman para verificar la concordancia entre la ecuación de MLG estimada y la obtenida por el BOD POD.

Una vez que se completaron las pruebas de validación, se utilizó la técnica multivariada discriminativa para evaluar la capacidad del porcentaje de MG estimado para clasificar a las personas con obesidad. También se calculó la concordancia, así como la sensibilidad, la especificidad y los valores predictivos de la obesidad, tomando como estándar de oro el BOD POD.

A partir del IMC, se consideró que los participantes tenían obesidad si tenían un  $IMC \geq 30$   $kg/m^2$ ; a partir del porcentaje de MG, se consideraron los valores  $\geq 35\%$  para las mujeres o  $\geq 25\%$  para los hombres, según los puntos de corte recomendados por la OMS.

El porcentaje de MG se calculó como  $((Peso - MLG) / Peso) \times 100$ . La estimación de la MLG se hizo usando la ecuación obtenida en este estudio. Los cálculos estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Stata® v13.

### *7.9 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 respeto a su dignidad y la protección de sus derechos.

La clasificación del riesgo del estudio es mínimo de acuerdo con el 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 pendiente de riesgo o daño a la salud del sujeto, para en su caso suspender el estudio, sin embargo, no hubo necesidad de hacerlo.

Antes de iniciar el estudio, a cada participante se le entregó una carta de consentimiento bajo información o consentimiento informado (Anexo D), el cual fue firmado por el sujeto de estudio 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.

## 8. Resultados

Se obtuvo una muestra de 275 voluntarios entre 20 y 63 años de edad, de los cuales 181 (66%) fueron mujeres. Las muestras de desarrollo y validación quedaron conformadas por 140 y 135 sujetos, respectivamente. Cuando se analizaron las características de ambas muestras en términos de medidas de tendencia central y distribución, no difirieron significativamente en ninguna de las variables antropométricas y de composición corporal (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Características de las muestras de desarrollo y validación

	Desarrollo (n=140)	Validación (n=135)	p
	Media (DE)	Media (DE)	
Hombres (%)	31.4	37.0	0.327 <sup>a</sup>
Edad (años)	40.0 (11.6)	39.5 (12.2)	0.798 <sup>b</sup>
Estatura (cm)	159.6 (9.6)	160.7 (8.7)	0.344 <sup>c</sup>
Peso (kg)	73.9 (12.6)	74.4 (13.2)	0.759 <sup>c</sup>
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	29.0 (4.1)	28.7 (4.3)	0.972 <sup>b</sup>
Circunferencia de cintura (cm)	96.7 (11.0)	96.2 (11.3)	0.951 <sup>b</sup>
Pliegue tricipital (mm)	18.9 (6.9)	17.5 (6.0)	0.139 <sup>b</sup>
Pliegue subescapular (mm)	24.3 (7.7)	23.2 (7.6)	0.236 <sup>c</sup>
Diámetro abdominal sagital (cm)	24.2 (3.9)	24.3 (3.6)	0.914 <sup>c</sup>
MLG medida por BOD POD (kg)	47.6 (9.9)	48.5 (9.7)	0.401 <sup>b</sup>
MG medida por BOD POD (kg)	26.3 (8.0)	25.9 (8.9)	0.717 <sup>c</sup>
MG medida por BOD POD (%)	35.5 (8.1)	34.4 (9.2)	0.425 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Prueba de Chi<sup>2</sup>; <sup>b</sup> Prueba de t de Student; <sup>c</sup> Prueba de Mann-Whitney

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del estudio

Considerando los puntos de corte del porcentaje de MG propuestos por la OMS para definir obesidad ( $\geq 35\%$  para mujeres y  $\geq 25\%$  para hombres), 77.3% de las mujeres y 70.2% de los hombres se clasificaron en la categoría de obesos. Por el contrario, cuando la clasificación se realizó con base en el IMC ( $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup>), la prevalencia de obesidad se redujo a aproximadamente 40% en mujeres y 32% en hombres. Utilizando los puntos de corte del porcentaje de MG para definir el sobrepeso (30-34% para mujeres y 20-24% para hombres), la prevalencia de esta categoría fue de alrededor del 15% para mujeres y 18%

para hombres (Cuadro 5). Lo anterior muestra una diferencia en la prevalencia de obesidad y sobrepeso entre los indicadores.

**Cuadro 5.** Clasificación de obesidad de acuerdo al porcentaje de masa grasas e IMC por sexo

Mujeres			Hombres		
Categoría por % de MG	%	n	Categoría por % de MG	%	n
Bajo peso ( $\leq 20\%$ )	1.7	3	Bajo peso ( $\leq 10\%$ )	3.2	3
Normal (21-29%)	6.1	11	Normal (11-19%)	8.5	8
Sobrepeso (30-34%)	14.9	27	Sobrepeso (20-24%)	18.1	17
Obesidad ( $\geq 35\%$ )	77.3	140	Obesidad ( $\geq 25\%$ )	70.2	66
Total	100	181	Total	100	94

Categoría por IMC	%	n	Categoría por IMC	%	n
Bajo peso ( $< 18.5$ )	1.7	3	Bajo peso ( $< 18.5$ )	0.0	0
Normal (18.5-24.9)	12.7	23	Normal (18.5-24.9)	10.6	10
Sobrepeso (25.0-29.9)	45.9	83	Sobrepeso (25.0-29.9)	57.5	54
Obesidad ( $\geq 30$ )	39.7	72	Obesidad ( $\geq 30$ )	31.9	30
Total	100	181	Total	100	94

IMC: Índice de Masa Corporal ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ); % de MG: Porcentaje de Masa Grasa

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del estudio

Los modelos de regresión lineal múltiple obtenidos de la muestra de desarrollo mostraron que el peso, la estatura y el sexo se asociaron significativamente con la MLG medida por el BOD POD. La ecuación final fue:

$$\text{MLG} = 0.44 \text{ E} + 0.28 \text{ P} + 6.88 \text{ (si es hombre)} - 46.03$$

donde:

MLG = Masa libre de grasa (kg)

E = Estatura (cm)

P = Peso (kg)

En la muestra de desarrollo, la correlación de MLG (kg) obtenida por el BOD POD con la estatura fue de 0.89 (Intervalo de Confianza del 95% (IC): 0.85, 0.92) y con el peso fue de 0.77 (IC: 0.70, 0.83).

En relación con la multicolinealidad se obtuvo un valor de Inflación de la varianza bajo (VIF = 2,28). Por otra parte, el modelo generó un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que explica 93% de la varianza total de la MLG. Al hacer el análisis de los residuos se comprobó que se distribuyeron normalmente y que cumplían con el criterio de homocedasticidad. Se obtuvo un coeficiente de Mallow de 4, lo que implica que el modelo fue parsimonioso ya que consideró igual número de componentes (tres variables más el intercepto).

Esta ecuación se usó en la muestra de validación y la técnica de Bland Altman no mostró sesgo (0.12 kg; CI: -0.41, 0.64). Los límites de concordancia fueron de -6.0 a 6.2 kg, con una desviación estándar de  $\pm 3.1$  kg a partir de la media.

Del análisis de concordancia de los valores observados y esperados (Cuadro 6) se obtuvo un valor de Kappa de 0.5045 con un error estándar de 0.06. El valor de concordancia observado fue de 82.18% y el esperado fue de 64.04%.

**Cuadro 6.** Análisis de concordancia para el diagnóstico de obesidad por el criterio de porcentaje de grasa corporal entre el porcentaje estimado a partir de la ecuación de predicción de MLG y el calculado por el BOD POD.

		Diagnóstico de obesidad por BOD POD		
		Con obesidad	Sin obesidad	Total
Diagnóstico de obesidad por ecuación	Con obesidad	186	29	215
	Sin obesidad	20	40	60
	Total	206	69	275

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio*

Se estimó la MLG y el porcentaje de MG utilizando la ecuación desarrollada en este estudio y los datos de la muestra de validación. Se compararon estas estimaciones con los resultados obtenidos con el BOD POD. Se observó una diferencia de 0.12 kg más en la MLG estimada en comparación con la medida, sin embargo, esta no fue estadísticamente significativa. De igual forma, una diferencia no significativa de 0.11% resultó cuando la comparación se hizo entre los porcentajes de MG estimados y medidos por el BOD POD (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Masa libre de grasa y masa grasa en kilogramos y porcentaje de masa grasa estimado a partir de la ecuación desarrollada y del BOD POD (N=135)

Método	Todos (n=135) Media (DE)	Mujeres (85) Media (DE)	Hombres (50) Media (DE)
MLG (kg)			
BOD POD	48.47 (±9.7)	42.56 (±5.3)	58.52 (±6.6)
Ecuación	48.59 (±9.2)	42.76 (±4.7)	58.50 (±5.8)
MG (kg)			
BOD POD	25.93 (±8.9)	27.52 (±8.6)	23.24 (±9.0)
Ecuación	25.81 (±8.1)	27.34 (±7.9)	23.20 (±7.9)
MG (%)			
BOD POD	34.41 (±9.2)	38.40 (±7.1)	27.61 (±8.4)
Ecuación	33.30 (±8.0)	38.22 (±5.9)	27.66 (±6.5)

DE: desviación estándar; MLG: Masa Libre de Grasa; MG: Masa Grasa

Fuente: *Elaboración propia a partir de los datos del estudio*

Entre los sujetos que de acuerdo con el IMC se clasificaron con obesidad, la media del porcentaje de grasa estimado por la ecuación fue de 33.4% para los hombres y 43.7% para las mujeres.

De acuerdo con el porcentaje de grasa, en el total de la muestra se calculó una prevalencia de obesidad de 74.9%. La estimación del porcentaje de grasa obtenido a partir de la ecuación mostró una sensibilidad de 90.3 (IC: 86.8, 93.8) y una especificidad de 58.0 (IC:



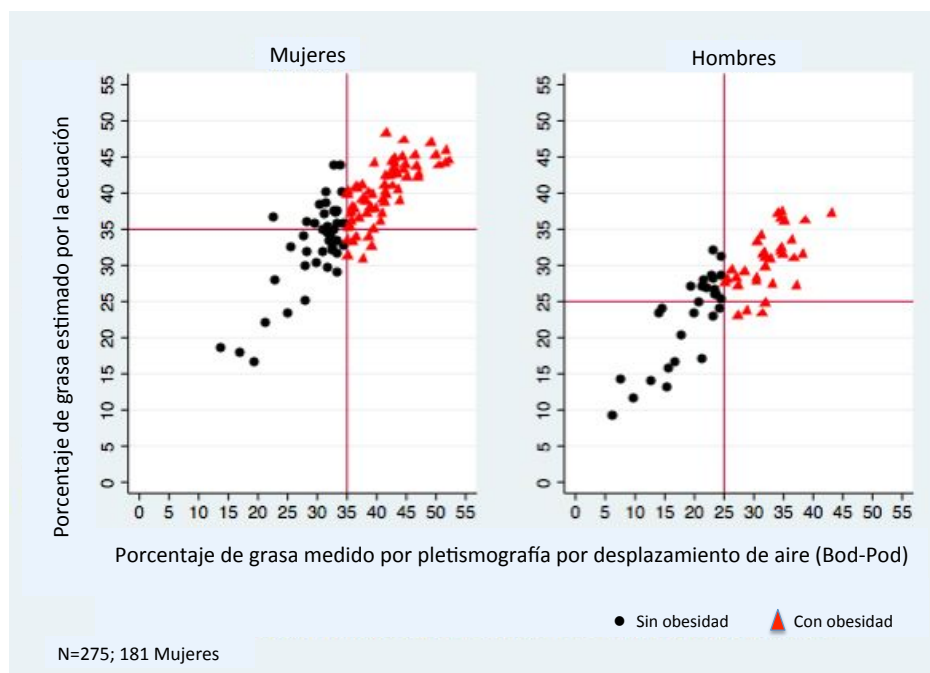
52.1, 63.8) para identificar la obesidad definida en términos de este componente utilizando como método de referencia el BOD POD (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Análisis de Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo y Valor Predictivo Negativo para el diagnóstico de Obesidad por el IMC y el porcentaje de grasa estimado por la ecuación desarrollada utilizando el BOD POD como método de referencia en ambos casos.

	IMC (CI 95%)	% Estimado por Ecuación (IC 95%)
Sensibilidad (%)	54.9 (49.0-60.7)	90.3 (86.8-93.8)
Especificidad (%)	88.4 (84.6-92.2)	58.0 (52.1-63.8)
VPP (%)	93.4 (90.5-96.3)	86.5 (82.5-90.6)
VPN (%)	39.6 (33.8-45.4)	66.7 (61.1-72.2)

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del estudio

Al evaluar la capacidad discriminante del porcentaje estimado de MG entre personas con obesidad y personas sin obesidad (Figura 4), se obtuvo que 93% y 65% de las personas con obesidad y sin obesidad, respectivamente fueron clasificadas correctamente.



**Figura 4.** Análisis discriminante de obesidad usando el porcentaje de grasa estimado  
Fuente: Elaboración propia con datos del estudio

## 9. Discusión

La definición de obesidad a partir del componente de grasa es poco consistente con su método de clasificación a partir del IMC, aun considerando que existe correlación entre éste y el porcentaje de masa grasa. La importancia de la alternativa propuesta en este estudio, radica en disponer de una herramienta de estimación del porcentaje de masa grasa en adultos a partir de variables tan sencillas como las que utiliza el IMC.

En México ya hay otros estudios se han hecho propuestas de ecuaciones de predicción para estimar el componente graso en diversas poblaciones, sin embargo, no consideraron la simplicidad de las variables predictoras como un objetivo, posiblemente porque no estaban interesados en usar sus resultados en estudios poblacionales<sup>[53,60]</sup> ni en la población adulta<sup>[52,54,56,61]</sup>, ni tampoco exploraron la capacidad de sus resultados para discriminar la obesidad.

Considerando el IMC como criterio diagnóstico de obesidad, la prevalencia de esta enfermedad en nuestro estudio es mayor (37.1%) en comparación con lo reportado previamente para la población mexicana (32.4%)<sup>[12]</sup>, la conformación de la muestra de este estudio a base de participación de voluntarios probablemente explica esta diferencia. Por otro lado, la prevalencia de obesidad en función del porcentaje de MG en comparación con la prevalencia de obesidad según los criterios de IMC, es consistente con los resultados en otros estudios<sup>[8,62]</sup>.

Se encontró una correlación alta entre el porcentaje de grasa obtenido por el BOD POD y el IMC (0.82 para mujeres y 0.77 para hombres), este resultado fue similar al reportado por otros autores<sup>[24,63]</sup>. La elección de las variables se hizo considerando aquellas que fuesen más simples de medir, por lo que si un par de variables estaban altamente correlacionadas se quedó la de más fácil medición; por ejemplo, se encontró una alta correlación entre el diámetro abdominal sagital con la circunferencia de la cintura (0.82) y con el peso (0.80). Estos resultados son consistentes con la literatura<sup>[64]</sup>, y aunque se evaluaron modelos con las tres variables de manera incluyente y excluyente, finalmente se decidió solo considerar

el peso por ser la de más fácil medición y que explicaba casi la misma variabilidad de la MLG.

Algunos autores han encontrado asociación entre la edad y la masa grasa o la MLG<sup>[65]</sup>; sin embargo, en este estudio esta variable no tuvo un efecto significativo en la estimación de MLG, a pesar de que el rango de edades incluido en este estudio fue amplio. Otros autores tampoco han obtenido en sus estudios asociaciones entre la edad y la MLG<sup>[66]</sup>.

Por otra parte, y como se esperaba, la estatura, el peso y el sexo se encontraron altamente correlacionados. Aunque se detectó la presencia de multicolinealidad, los puntajes del factor de inflación de la varianza (VIF) menores a diez, sugieren que no es una influencia significativa que modifique la estabilidad del parámetro estimado<sup>[67]</sup>.

El promedio del porcentaje de MG obtenido por el BOD POD fue mayor para las mujeres que para los hombres, relación que es ampliamente conocida en la literatura<sup>[68,69]</sup> y que en este estudio se confirma. Macías *et al.*<sup>[68]</sup>, utilizando datos de 5100 sujetos mexicanos, encontraron que la media del porcentaje de grasa correspondiente a personas clasificadas con obesidad de acuerdo al IMC fue del 49.3% para mujeres y 35.8% para hombres. Cuando se comparan los resultados de este estudio, se observa una relación similar para los hombres (33.4% ) y menor para las mujeres (43.7%). Esta diferencia podría ser explicada por las diferencias en el tamaño de muestra.

En el análisis de validación, se estimó la MLG (kg) con la ecuación propuesta y los datos de la muestra de validación. Se obtuvo una alta correlación con la MLG medida con el BOD POD; sin embargo, se observó una ligera tendencia a subestimar la MLG medida para ambos sexos. Para el caso de la estimación del porcentaje de MG, se identificó una tendencia similar. Otros autores han encontrado una tendencia a sobreestimar el porcentaje de MG y a subestimar el % de MG<sup>[70]</sup>.

Cuando comparamos el error cuadrático medio de nuestro estudio, es más pequeño que el obtenido en otros estudios. Además, la varianza explicada por la ecuación de predicción de MLG obtenida en nuestro estudio ( $R^2 = 0.93$ ) fue mayor que la obtenida por otros autores, incluso cuando usaron tamaños de muestra más grandes. Esto puede explicarse por la

homogeneidad de nuestra muestra, ya que tenemos más del 35% de la población en condición de obesidad. Esto sugiere que esta ecuación podría ajustarse a las poblaciones con prevalencia de obesidad tan altas como la muestra de este estudio. Tal podría ser el caso de México, que tiene una prevalencia de obesidad alrededor del 33%.

El uso del IMC como indicador de obesidad puede introducir problemas de clasificación errónea, lo que a su vez puede dar como resultado un sesgo importante en la estimación de los efectos relacionados con la obesidad<sup>[71]</sup>.

En este estudio el IMC tuvo alta especificidad, pero baja sensibilidad para detectar obesidad cuando se define a partir del %MG. La precisión del IMC para diagnosticar obesidad es limitada y sin importar el sexo, no puede discriminar entre porcentajes de masa grasa y masa magra<sup>[72]</sup>. Los valores de sensibilidad y especificidad del IMC obtenidos en este estudio fueron similares a los reportadas por otros autores<sup>[8,72]</sup>.

No se puede pasar por alto que a pesar de lo anteriormente expuesto, una de las principales razones para seguir usando el IMC y los puntos de corte propuestos por la OMS es la comparabilidad entre poblaciones; en ese sentido, el uso de diferentes indicadores o puntos de corte de la obesidad para cada población podría hacer este trabajo más difícil. Y la otra razón para su uso tan difundido es la simplicidad de su cálculo.

Algunos autores han sugerido ajustar los límites del IMC para la obesidad<sup>[69]</sup>, sin embargo, esta propuesta no supera las limitaciones de la pérdida de comparabilidad cuando los puntos de corte dependen de la población en cuestión. Algunos otros autores han propuesto nuevos porcentajes de grasa corporal saludable y establecer puntos de corte internacionales diferentes<sup>[26]</sup>.

Nuestros resultados sugieren que en México la magnitud de la epidemia de obesidad puede ser mayor que la estimada por el IMC. Usando la definición de la obesidad como exceso del porcentaje de grasa, se mostró que la prevalencia de obesidad aumentó casi dos veces cuando se obtuvo por porcentaje de grasa comparada con la prevalencia obtenida por IMC. Las cifras fueron de 39.7% a 77.3% en mujeres y de 31.9% a 70.2% en hombres. Las

diferencias en la prevalencia de obesidad de ambos criterios son consistentes con otros estudios<sup>[8,68,72]</sup>.

Las posibles limitaciones de este estudio incluyen la generalización de los resultados a poblaciones con características diferentes a las de la muestra, por ejemplo, a poblaciones con menos prevalencia de obesidad. En segundo lugar, el uso del método de dos componentes como criterio de referencia, ya que algunos autores afirman que es necesario analizar al menos tres componentes para que el método sea considerado como un patrón de oro<sup>[73]</sup>; Sin embargo, el BOD POD fue validado como un método de referencia<sup>[28,29,35]</sup> y es reconocido ampliamente por otros autores.

Una limitante más fue considerar los puntos de corte del porcentaje de MG de 25% y 35% como apropiados para el diagnóstico de obesidad en hombres y mujeres, respectivamente.

Finalmente, en parte la capacidad discriminante entre sujetos con y sin obesidad se debe a la capacidad discriminante del porcentaje de masa grasa. El buen desempeño de la ecuación propuesta podría verse influenciada por el hecho de que se estima el porcentaje de grasa corporal. Por otra parte, existe una limitante adicional de la ecuación en relación a la especificidad alcanzada, ya que solo logra un 58%, porcentaje menor que el obtenido con el IMC que es 30 puntos porcentuales superior.

Sin embargo, estos resultados alientan a la búsqueda de alternativas al IMC para el diagnóstico de obesidad en adultos mexicanos. Futuras investigaciones son necesarias para realizar ecuaciones que permitan la generalización de la estimación del porcentaje de masa grasa, no solo en población adulta sino también en niños.

Métodos sencillos de calcular que incluyan variables basadas en mediciones confiables y fáciles de obtener, tanto como las del IMC, pueden ser muy útiles en estudios epidemiológicos y en la práctica clínica.

## 10. Conclusiones

El porcentaje de masa grasa es un componente fisiológico importante y su estimación utilizando una fórmula basada en variables antropométricas simples, directas y no invasivas, hace que este tipo de métodos indirectos sean atractivos para el diagnóstico de obesidad. La capacidad diagnóstica de obesidad del porcentaje de masa grasa estimado a partir de la ecuación propuesta en este trabajo fue buena.

Este modelo matemático puede ser confiable para estimar la masa grasa en adultos con características físicas similares a las de este estudio y puede usarse como una herramienta de cribado en estudios clínicos y epidemiológicos para el diagnóstico de la obesidad en población que no ha sido diagnosticada con obesidad a partir del IMC. Al basarse en una muestra no representativa, es difícil generalizar los resultados y sería necesario realizar más investigaciones sobre los hallazgos de este trabajo de tesis.

## Glosario

**Absorciometría con rayos X de doble energía (DXA):** es una técnica que se utiliza para medir la densidad mineral ósea. Se realiza principalmente en la columna lumbar, fémur proximal y cuerpo completo y se basa en medir la transmisión de un haz de fotones de rayos X con dos picos de energía a través del cuerpo del paciente, lo que permite evaluar el contenido en calcio, y por tanto el mineral óseo.

**Antropometría:** Estudio de las proporciones y medidas del cuerpo humano.

**BOD POD:** es un método que utiliza la pletismografía por desplazamiento de aire, mediante el cual puede determinarse en forma precisa la composición corporal de un individuo, con un margen de error pequeño.

**Claustrofobia:** Temor obsesivo ante los recintos o espacios limitados que puede constituir una enfermedad

**Diagnóstico:** Identificación de la enfermedad, afección o lesión que sufre un paciente, además de su localización y naturaleza. Se obtiene por los diversos síntomas y signos presentes en el enfermo, siguiendo un razonamiento lógico.

**Edema:** Colección anormal de líquidos en los espacios intersticial, pericárdico, pleural, articular o peritoneal

**ENSANUT:** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Un conjunto de preguntas que permite conocer el estado de salud y nutrición de los mexicanos.

**Evaluación antropométrica:** consiste en la obtención de mediciones corporales que se comparan con valores de referencia y permite cuantificar algunos de los compartimentos corporales.

**Esperanza de vida:** periodo estimado en años que vivirá una persona. Se calcula de acuerdo con la raza, el sexo y la población.

**Factor de riesgo:** rasgo o característica que nos predispone a sufrir alguna enfermedad

**Gradiente:** razón o tasa de aumento o disminución del valor de una magnitud, como la presión o la temperatura, en dos puntos próximos y la distancia que los separa.

**IMC:** es un índice sobre la relación entre el peso y la altura, generalmente utilizado para clasificar el peso insuficiente, el peso excesivo y la obesidad en los adultos. Se calcula dividiendo el peso en kilogramos por el cuadrado de la altura en metros ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

**Masa corporal:** es la magnitud física que permite indicar la cantidad de materia que contiene el cuerpo humano. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo (kg).

**Masa grasa:** es el tejido corporal compuesto por adipocitos, células especializadas en acumular lípidos. El tejido adiposo sirve de reserva energética, de protección de órganos internos, para mantener la temperatura corporal y como órgano endócrino.

**Masa libre de grasa:** es el contenido del cuerpo humano que incluye todas las células que no son adipocitos. Es muy heterogéneo e incluye: huesos, músculos, agua extracelular y tejido nervioso.

**Metabolismo:** son procesos químicos que suceden dentro de la célula y permiten que se lleven a cabo procesos como el crecimiento, producción de energía, mantenimiento de estructuras y eliminación de desechos, entre otros. Se divide en dos fases: anabolismo y catabolismo.

**Morbilidad:** es el estudio del impacto que deja una enfermedad en una población y momento determinado.

**Mortalidad:** número de muertes ocurridas en una población y momento determinados.

**Obesidad:** Enfermedad que se caracteriza por un exceso de grasa que puede ser dañina para la salud. Los adultos con un IMC mayor a  $30 \text{ kg/m}^2$  se consideran con obesidad.

**Pletismografía por desplazamiento de aire:** es un método de medición indirecta del volumen de un objeto mediante la determinación del volumen de aire que se desplaza dentro de una cámara cerrada (pletismografía).

**Prevalencia:** proporción de individuos de un grupo o una población que presentan una característica o evento determinado en un momento o en un período determinado, puntual y de periodo, respectivamente.

**Sobrepeso:** es el aumento de peso corporal por encima de un patrón dado. Los adultos con un IMC de 25 a  $29.9 \text{ kg/m}^2$  se consideran con sobrepeso.

**Tratamiento oportuno:** conjunto de medidas necesarias para curar o aliviar molestias. Se adoptan cuando todavía se puede eliminar o detener la enfermedad.



## Referencias bibliográficas

1. OMS. OMS | 10 datos sobre la obesidad [Internet]. WHO2017;1. Available from: <http://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/%0Ahttp://www.who.int/features/factfiles/obesity/facts/es/>
2. OMS. ¿Qué es la malnutrición? [Internet]. 2016 [cited 2017 Oct 24]; Available from: <http://www.who.int/features/qa/malnutrition/es/>
3. Espinosa RMO, GN C, SM J, MEV. G. Epidemiología de la obesidad [Internet]. In: Morales J, editor. Obesidad. Un enfoque multidisciplinario. Pachuca, Hidalgo: UAEH; 2010. page 227–37. Available from: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/142/14220648001.pdf>
4. Aceves-Martins M, Llauradó E, Tarro L, Solà R, Giralt M. Obesity-promoting factors in Mexican children and adolescents: Challenges and opportunities. *Glob Health Action* 2016;9(1).
5. Hruby A, Hu FB. The Epidemiology of Obesity: A Big Picture. *Pharmacoeconomics* 2015;33(7):673–89.
6. Medina C, Janssen I, Campos I, Barquera S. Physical inactivity prevalence and trends among Mexican adults: results from the National Health and Nutrition Survey (ENSANUT) 2006 and 2012. *BMC Public Health* [Internet] 2013;13:1063. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3883516&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
7. Wang Y, Beydoun MA, Liang L, Caballero B, Kumanyika SK. Will All Americans Become Overweight or Obese? Estimating the Progression and Cost of the US Obesity Epidemic. *Obes* [Internet] 2008;16(10):2323–30. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1038/oby.2008.351>
8. Okorodudu DO, Jumean MF, Montori VM, Romero-Corral A, Somers VK, Erwin PJ, et al. Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity: a systematic review and meta-analysis. *Int J Obes (Lond)* [Internet] 2010;34(5):791–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2010.5>
9. Shah NR, Braverman ER. Measuring adiposity in patients: The utility of body mass index (BMI), percent body fat, and leptin. *PLoS One* 2012;7(4).
10. Organización Mundial de la Salud. OMS | Obesidad y sobrepeso [Internet]. 3112015;1–4. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
11. OECD. Obesity Update 2017. 2017; Available from: [www.oecd.org/health/obesity-update.htm](http://www.oecd.org/health/obesity-update.htm)
12. Barquera S, Campos-Nonato I, Hernández-Barrera L, Pedroza-Tobías A, Rivera-Dommarco JA. Prevalencia de obesidad en adultos mexicanos, ENSANUT 2012. *Salud Publica Mex* 2013;55:151–60.
13. Rtveldze K, Marsh T, Barquera S, Sanchez Romero LM, Levy D, Melendez G, et al. Obesity prevalence in Mexico: impact on health and economic burden. *Public*

- Health Nutr [Internet] 2014;17(1):233–9. Available from: [http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S1368980013000086](http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1368980013000086)
14. Papadopoulos S, Brennan L. Correlates of weight stigma in adults with overweight and obesity: A systematic literature review. *Obes* [Internet] 2015;23(9):1743–60. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/oby.21187>
  15. Barrera-cruz A, Molina-ayala MA, Rodríguez-gonzález A. Escenario actual de la obesidad en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* 2013;51(3):292–9.
  16. Heymsfield SB, Baumgartner R, Pan S. Valoración nutricional de la desnutrición mediante métodos antropométricos. In: Shils M, Olson J, Shike M, Ross A, editors. *Nutrición en salud y enfermedad*. México: McGraw-Hill Interamericana; 1999.
  17. Gómez-Ambrosi J, Silva C, Catalán V, Rodríguez A, Galofré JC, Escalada J, et al. Clinical usefulness of a new equation for estimating body fat. *Diabetes Care* 2012;35(2):383–8.
  18. Cole T. Weight-stature indices to measure underweight, overweight and obesity. In: James J, editor. *Anthropometric assessment of nutritional status*. New York: Wiley-Liss; 1991.
  19. Rookus MA, Burema J, Deurenberg P, van der W-W. The impact of adjustment of a weight-height index (W/H<sup>2</sup>) for frame size on the prediction of body fatness 158. *Br J Nutr* 1985;54(0007–1145 (Print)):335–42.
  20. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr* [Internet] 1992;56(1):19–28. Available from: <http://eutils.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/eutils/elink.fcgi?dbfrom=pubmed&id=1609756&retmode=ref&cmd=prlinks%5Cnpapers2://publication/uuid/3A55640D-7BAF-4A4F-81A6-4F4BC88952E4>
  21. Organ LW, Eklund AD, Ledbetter JD. An automated real time underwater weighing system. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26(3):383–91.
  22. Shaikh MG, Crabtree NJ, Shaw NJ, Kirk JMW. Body fat estimation using bioelectrical impedance. *Horm Res* 2007;68(1):8–10.
  23. 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* [Internet] 2010;55(9):2619–35. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2921899&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
  24. 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;143(0002–9262 (Print)):228–39.
  25. Casanueva E, Pérez-Lizaur A, Arroyo P. Obesidad en el adulto. In: Casanueva E, Kaufer M, Perez-Lizaur A, Arroyo P, editors. *Nutriología Médica*. México: Editorial Médica Panamericana; 2008. page 350–88.
  26. Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb S a., Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: An approach for developing guidelines based on body mass index. *Am J Clin Nutr* 2000;72(3):694–701.

27. Ramírez López E, Juillerat MEV. 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. *Rev Salud Pública y Nutr* 2008;9(3).
28. Ginde SR, Geliebter A, Rubiano F, Silva AM, Wang J, Heshka S, et al. Air displacement plethysmography: validation in overweight and obese subjects. *Obes Res [Internet]* 2005;13(7):1232–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16076993>
29. Fields D a., Goran MI, McCrory M a. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: A review. *Am J Clin Nutr* 2002;75(3):453–67.
30. Tseh W, Caputo JL, Keefer DJ. Validity and reliability of the BOD POD?? S/T tracking system. *Int J Sports Med* 2010;31(10):704–8.
31. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1692–7.
32. G. C. Físicoquímica. 3a ed. México: 1998.
33. Ong CW, O'Driscoll DM, Truby H, Naughton MT, Hamilton GS. The reciprocal interaction between obesity and obstructive sleep apnoea. *Sleep Med Rev [Internet]* 2013;17(2):123–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smrv.2012.05.002>
34. 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;7(1):9–17.
35. Fields DA, Gunatilake R, Kalaitzoglou E. Air Displacement Plethysmography. *Nutr Clin Pract [Internet]* 2015;30(2):219–26. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0884533615572443>
36. Noreen EE, Lemon PWR. Reliability of air displacement plethysmography in a large, heterogeneous sample. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(8):1505–9.
37. Anderson DE. Reliability of air displacement plethysmography. *J Strength Cond Res [Internet]* 2007;21(1):169–72. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17313287>
38. Ellis KJ, Yao M, Shypailo RJ, Urlando A, Wong WW, Heird WC. Body-composition assessment in infancy: Air-displacement plethysmography compared with a reference 4-compartment model. *Am J Clin Nutr* 2007;85(1):90–5.
39. 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. In: *Acta Diabetologica*. 2003.
40. Alemán-Mateo H, Huerta RH, Esparza-Romero J, Méndez 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 [Internet]* 2007;61(7):830–6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17228350>
41. Ávila-Rosas H, Caraveo-Enriquez V, Valdés-Ramos R, Tejero E. Evaluación del estado de nutrición. In: Casanueva E, Kaufer M, Perez-Lizaur A, Arroyo P, editors. *Nutriología Médica*. México: Editorial Médica Panamericana; 2008. page

- 747–84.
42. Bellisari A, Roche A. Antropometría y ecografía. In: Heymsfield SB, Lohman T, Wang Z, Going S, editors. *Composición corporal*. México: McGraw-Hill Interamericana; 2005. page 109–28.
  43. Malagón de García C. *Manual de antropometría*. 2a ed. Colombia: Editorial Kinesis; 2004.
  44. Borkan GA, Hults DE, Glynn RJ. Role of Longitudinal Change and Secular Trend in Age Differences in Male Body Dimensions. *Hum Biol* [Internet] 1983;55(3):629–41. Available from: <http://www.jstor.org/stable/41464710>
  45. Flynn MA, Nolph GB, Baker AS, Martin WM, Krause G. Total body potassium in aging humans: A longitudinal study [Internet]. *Am J Clin Nutr* 1989;50(4):713–7. Available from: [http://conricyt2.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMw3V1Na9wwEBWFQlsoJUk\\_sk0DOpRcFhdb\\_pBN6cFx0qypLYesl7InY0syBNrNQhxl\\_31HktfebFvIuT4Ze2yEZnh6kkZvEHLJJ9vawYTGEZHda1eElAoShg5vqKcuGC8c6da6LJm3PPEuyigZd2bGZ\\_-F44syzqzT4mw5vYRb6JlFPk3ZNL5QC1OzRR6z-](http://conricyt2.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMw3V1Na9wwEBWFQlsoJUk_sk0DOpRcFhdb_pBN6cFx0qypLYesl7InY0syBNrNQhxl_31HktfebFvIuT4Ze2yEZnh6kkZvEHLJJ9vawYTGEZHda1eElAoShg5vqKcuGC8c6da6LJm3PPEuyigZd2bGZ_-F44syzqzT4mw5vYRb6JlFPk3ZNL5QC1OzRR6z-)
  46. Forbes G. Lean body mass-body fat interrelationships in humans. *Nutr Rev* 1987;45(8):225–31.
  47. Vasques J, Souza J, Yamanaka A, Pareja J, Tambascia M, Saad M, et al. Sagittal abdominal diameter as a surrogate marker for epicardial and visceral adiposity [Internet]. *J Diabetes* 2011;3:33. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed10&NEWS=N&AN=70454911>
  48. Durnin J V, 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;32(1):77–97.
  49. M. HR. Valoración del estado de nutrición. In: Hernández Rodríguez M SGA, editor. *Tratado de nutrición*: Mexico: Díaz de Santos; 1999. page 601–10.
  50. Deurenberg P, Deurenberg-yap M, Wang J, Lin FP, Schmidt G. Prediction of percentage body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in Singaporean and Beijing Chinese. *Am J Clin Nutr* 2000;9(February):93–8.
  51. Rush EC, Puniani K, Valencia ME, Davies PSW, Plank LD. Estimation of body fatness from body mass index and bioelectrical impedance : comparison of New Zealand European , Maori and Pacific Island children. 2003;1394–401.
  52. Ramírez 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* [Internet] 2012;66(10):1099–103. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22805494>
  53. Macias N, Alemán-Mateo H, Esparza-Romero J, Valencia ME. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutr J* [Internet] 2007;6(1):18. Available from: <http://nutritionj.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2891-6-18>
  54. Huerta RH, Esparza-Romero J, Urquidez R, Pacheco BI, Valencia ME, Alemán-

- Mateo H. Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *Arch Latinoam Nutr* 2007;57(4):357–65.
55. 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* [Internet] 2003;27(7):848. Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=10121767&site=ehost-live>
  56. 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 Heal Aging* 2010;14(6):418–26.
  57. Deurenberg P, Weststrate J, Seidell J. Body mass index as a measure of body fatness : age- and sex- specific prediction formulas. *Nutr Hum Netherlunds*, 1991;65(2):105–14.
  58. Ruiz A, Morillo L. *Epidemiología clínica. Investigación clínica aplicada*. Colombia: Editorial Médica Panamericana; 2004.
  59. Siri W. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, editor. *Techniques for measuring body composition*. Washington DC,: National Academy of Sciences, Natural Research Council; 1961. page 223–4.
  60. Schifferli I, Carrasco F, Inostroza J. Formulation of an equation to predict fat mass using bioelectrical impedance in adults in a wide range of ages and body mass index. *Rev Med Chil* 2011;1534–43.
  61. Ortiz-Hernandez L, Vega-Lopez AV, Ramos-Ibañez N, Cazares-Lara LJ, Medina-Gomez RJ, Perez-Salgado D. Equations based on anthropometry to predict body fat measured by absorptiometry in schoolchildren and adolescents. *J Pediatr (Rio J)*2016;
  62. Frankenfield DC, Rowe WA, Cooney RN, Smith JS, Becker D. Limits of body mass index to detect obesity and predict body composition. *Nutrition* 2001;17(1):26–30.
  63. Smalley KJ, Knerr AN, Kendrick Z V., Colliver JA, Owen OE. Reassessment of body mass indices. *Am J Clin Nutr* 1990;52:405–8.
  64. Duarte Pimentel G, Portero-McLellan KC, Maesta N, Corrente JE, Burini RC. Accuracy of sagittal abdominal diameter as predictor of abdominal fat among Brazilian adults: A comparation with waist circumference. *Nutr Hosp* 2010;25(4):656–61.
  65. Guo SS, Zeller C, Chumlea WC, Siervogel RM. Aging, body composition, and lifestyle: The Fels Longitudinal Study. *Am J Clin Nutr* 1999;70(3):405–11.
  66. Hsieh K, Lu H, Chen C, Jang T, Chen Y. The validity and accuracy in foot-to-foot bioelectrical impedance analysis measuring models referenced by dual-energy X-ray absorptiometry in body composition in standing position. *J Biotechnol* 2011;10(16):3222–31.
  67. O'Brien RM. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. *Qual Quant* 2007;41(5):673–90.

68. Macias N, Quezada AD, Flores M, Valencia ME, Denova-Gutiérrez E, Quiterio-Trenado M, et al. Accuracy of body fat percent and adiposity indicators cut off values to detect metabolic risk factors in a sample of Mexican adults. *BMC Public Health* [Internet] 2014;14(1):341. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24721260>
69. Goh VHH, Tain CF, Tong TYY, Mok HPP, Wong MT. Are BMI and other anthropometric measures appropriate as indices for obesity? A study in an Asian population. *J Lipid Res* 2004;45:1892–8.
70. Hastuti J, Kagawa M, Byrne NM, Hills AP. Development and validation of anthropometric prediction equations for estimation of body fat in Indonesian men. *Asia Pac J Clin Nutr* [Internet] 2013;22(4):522–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24231011>
71. Rothman KJ. BMI-related errors in the measurement of obesity. *Int J Obes* [Internet] 2008;32:S56–9. Available from: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/ijo.2008.87>
72. Romero-Corral A, Somers VK, Sierra-Johnson J, Thomas RJ, Bailey KR, Collazo-Clavell ML, et al. Accuracy of Body Mass Index to Diagnose Obesity In the {US} Adult Population [Internet]. *Int J Obes (Lond)* 2008;32(6):959–66. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2877506/>
73. van der Ploeg GE, Gunn SM, Withers RT, Modra AC. Use of anthropometric variables to predict relative body fat determined by a four-compartment body composition model. *Eur J Clin Nutr* [Internet] 2003;57(8):1009–16. Available from: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/sj.ejcn.1601636>

# Anexos

**Anexo A. Instrumento de recolección de datos**

Facultad de Medicina



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA**



Localidad  AGEB  MZ.  Folio

NOMBRE: \_\_\_\_\_

Sexo: Femenino  Masculino  Fecha de Nacimiento:    Edad

día mes año

años  
Domicilio: Calle: \_\_\_\_\_ MZ: \_\_\_\_\_ LT: \_\_\_\_\_ Colonia: \_\_\_\_\_

Fecha del estudio  /  /  HORA DE CITA  :  (HH:MM)

DD MM AA

**CRITERIO DE INCLUSIÓN**

Descanso  Evac.vejiga  Intestino  Ayuno  \_\_\_ hrs Edema/deshidratación

Patología/medicina

FUR  /  /  Fecha nac. último hijo  /  /

Presencia  Ausencia

**DATOS ANTROPOMÉTRICOS**

	Primera	Segunda	Promedio	
Estatura sentado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
TA Sistólica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	mmHg
TA Diastólica	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	mmHg
Estatura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circ. Cintura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circ. Cadera	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Circ. Muslo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Diámetro abdominal sag.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue subescapular	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue de tríceps	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue bicipital	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Pliegue Suprailíaco	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	cm
Peso (pletismógrafo)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kg
Velocidad marcha (4 m) *	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	seg

\* Si el participante se rehúsa o no completa el recorrido, finalizar la prueba.

**DATOS DE PLETISMOGRAFÍA**

Porcentaje de Masa Grasa

.   %

Cantidad de Masa

Grasa

.   kg

Porcentaje Masa Libre de

Grasa

.   %

Cantidad Masa Libre

Grasa

.   kg

OBSERVACIONES

Nombre y firma del observador



### Anexo B. Tamaño de muestra para estimar el coeficiente de concordancia y correlación para dos métodos.



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 ( $\pi$ ) del verdadero valor del $P_c$ ; para diferentes niveles de error tipo I ( $\alpha$ ) y una prueba a dos colas								
$P_c$	$E$	$\alpha$ 2-colas	0.01	0.02	$\pi$ 0.05	0.1	0.15	0.2
0.95	0.03	0.01	67	17	----	----	----	----
	0.05		184	46	8	----	----	----
	0.1	736	184	30	8	4	----	
	0.3	6617	1655	265	67	30	17	
	0.5	18379	4595	736	184	82	46	
	1	73516	18379	2941	736	327	184	
	0.03	0.05	39	10	----	----	----	----
	0.05		107	27	5	----	----	----
	0.1		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	----	----	----	----
	0.05		205	52	9	----	----	----
	0.1	820	205	33	9	4	----	
	0.3	7372	1843	295	74	33	19	
	0.5	20478	5120	820	205	92	52	
	1	81911	20478	3277	820	365	205	
	0.03	0.05	43	11	----	----	----	----
	0.05		119	30	5	----	----	----
	0.1		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	----	----	----
	0.05		230	58	10	----	----	----
	0.1	919	230	37	10	5	----	
	0.3	8265	2067	331	83	37	21	
	0.5	22958	5740	919	230	103	58	
	1	91831	22958	3674	919	409	230	
	0.03	0.05	48	12	----	----	----	----
	0.05		133	34	6	----	----	----
	0.1		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 C. Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Unidad de medida	Definición Operacional	Fuente
<b>V a r i a b l e s   d e p e n d i e n t e s</b>				
Masa grasa (MG)	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.	Medición obtenida del Pletismógrafo por desplazamiento de aire (BOD POD).
Masa Libre de grasa (MLG)	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.	Medición obtenida del Pletismógrafo por desplazamiento de aire (BOD POD).
<b>V a r i a b l e s   i n d e p e n d i e n t e s</b>				
Sexo	Condición orgánica masculina o femenina de los seres humanos.	Mujer Hombre	Codificación. 0: Mujer; 1: Hombre	Pregunta directa a través de cuestionario y 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.
Peso	Magnitud física que permite expresar la cantidad de materia que contiene un sujeto.	Kilogramos con precisión hasta gramos.	Cantidad de masa corporal que contiene un sujeto en posición de pie, en ayuno, con ropa ligera.	Medición directa del evaluado usando báscula electrónica que forma parte del BOD POD.
Talla de pie (estatura)	Distancia de medida en un sujeto en posición de pie desde los pies hasta la cabeza.	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición de la distancia desde los pies hasta el vertex craneal de un sujeto en posición de pie.	Medición directa del evaluado, usando estadiómetro de precisión milimétrica calibrado marca SECA.
Talla sentado	Distancia de medida en un sujeto en posición sentado desde la superficie del banco hasta la cabeza.	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición de la distancia desde el banco antropométrico hasta el vertex craneal de un sujeto sentado en un banco.	Medición directa del evaluado, usando estadiómetro de precisión milimétrica calibrado marca SECA.
Circunferencia de cintura	Medición del contorno de un sujeto a la altura del ombligo (cicatriz umbilical) o entre el punto medio entre el borde superior de la cresta iliaca y el borde inferior de la última costilla.	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición de la circunferencia de la cintura con el sujeto de pie entre el punto medio entre el borde superior de la cresta iliaca y el borde inferior de la última costilla.	Medición directa del evaluado, usando cinta métrica flexible e inelástica (Rosscraft Innovation Incorporated, Canadá)
Circunferencia de cadera	Medición del contorno de un sujeto a la altura de la cadera	Centímetros con precisión hasta 0.1 cm	Medición de la circunferencia de la cintura con el sujeto de pie.	Medición directa del evaluado, usando cinta métrica flexible e inelástica (Rosscraft Innovation Incorporated, Canadá)

Variable	Definición Conceptual	Unidad de medida	Definición Operacional	Fuente
Pliegue de tríceps	Espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en el tríceps.	Milímetros	Medición del espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en el tríceps.	Medición directa realizada con un plicómetro (Harpenden® British Indicators, Burgess Hill, Reino Unido).
Pliegue subescapular	Espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en la parte inferior de la escápula.	Milímetros	Medición del espesor de una capa doble de piel y tejido adiposo subcutáneo en la parte inferior de la escápula.	Medición directa hecha con un plicómetro (Harpenden® British Indicators, Burgess Hill, Reino Unido).
Diámetro abdominal sagital (DAS)	Distancia entre un punto del abdomen y la mesa examinadora con el sujeto en posición de cúbito supino.	Centímetros con precisión milimétrica.	Distancia entre la mesa de exploración y la pinza móvil del sagitómetro cuando toca suavemente el abdomen del sujeto en posición decúbito supina y con las rodillas flexionadas, sin compresión, tras la espiración normal.	Medición directa hecha con un sagitómetro abdominal (Holtain Kahn Abdominal Caliper®) de pinzas móviles y subdivisión de 0,1 cm.
Índice de Masa Corporal (IMC)	Razón matemática que relaciona la masa corporal total con la estatura.	Kg/m <sup>2</sup>	$\text{IMC} = \frac{\text{peso(kg)}}{\text{estatura}^2(\text{m})}$	Cálculo a partir del peso y estatura medidos.

## Anexo D. Formato de consentimiento informado

<p>Facultad de Medicina</p> 	<p>Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Medicina Unidad de Proyectos Especiales de Investigación</p>	
<p><b>CONSENTIMIENTO INFORMADO</b></p>		
<p>Acepto participar en el proyecto de investigación “Determinación de la Masa Grasa en habitantes del Municipio de Emiliano Zapata, Hidalgo” que realiza la UNAM y cuyo objetivo es la determinación de factores de riesgo asociados al porcentaje de masa grasa y elaboración de ecuaciones de predicción de la misma. Estoy enterado(a) que 300 personas con edad entre 20 y 65 años que viven en el Municipio de Emiliano Zapata, Estado de Hidalgo participan en este estudio y manifiesto que mi participación es VOLUNTARIA y consiste en lo siguiente:</p>		
<p><b>Procedimiento:</b> Transportación gratuita del Municipio de Emiliano Zapata a las instalaciones del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en la Ciudad de Pachuca, Hidalgo. en transporte proporcionado por la UNAM.</p>		
<p>Evaluación antropométrica de: 1) Peso, 2) estaturas de pie y sentado, 3) circunferencias de cintura y cadera 4) diámetro abdominal sagital y 5) pliegues subescapular y tricípital.</p>		
<p>Medición de la presión arterial.</p>		
<p>Medición del porcentaje de grasa, la cual consiste en introducirme descalzo y con ropa especial (interior, de licra o ambas), a un aparato llamado pletismógrafo por desplazamiento de aire para que sea medido mi volumen corporal.</p>		
<p><b>Tiempo estimado del estudio</b> es de 4 horas aproximadamente, incluyendo la transportación viaje redondo.</p>		
<p><b>Costos.</b> No habrá ningún costo por mi participación en este estudio.</p>		
<p><b>Suspensión de mi participación.</b> Entiendo que puedo en cualquier momento rehusar mi participación y si decido hacerlo, no tengo porque justificarlo.</p>		
<p><b>Confidencialidad.</b> Las mediciones efectuadas en el proyecto descrito anteriormente conciernen a mi persona, tendrán un carácter de confidencialidad y los resultados me serán entregados personalmente el mismo día. Los datos y este formato de confidencialidad serán resguardados en la UNAM.</p>		
<p><b>Persona para contacto.</b> Si durante mi participación surge algún problema o duda, puedo llamar al Dr. Malaquías López Cervantes al tel. 55 5623 2300 ext. 45031 de lunes a viernes de 9 am a 5 pm.</p>		
<p><b>Al firmar indico que he leído y entiendo la información presentada anteriormente, asimismo que he preguntado lo que he juzgado conveniente y que me han respondido satisfactoriamente.</b></p>		
<p>Nombre y firma del participante: _____</p>		
<p>Nombre y firma del testigo 1: _____</p>		
<p>Nombre y firma del testigo 2: _____</p>		
<p>_____ de 201__.</p>		