

**Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A. C.**

**COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS SANOS
DEL NOROESTE DE MÉXICO**

POR:

NAYELI MACÍAS MORALES

**TESIS APROBADA POR LA
DIRECCIÓN DE NUTRICIÓN**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

**C.I.A.D., A.C.
RECIBIDO
12 MAYO 2003
5632
BIBLIOTECA**

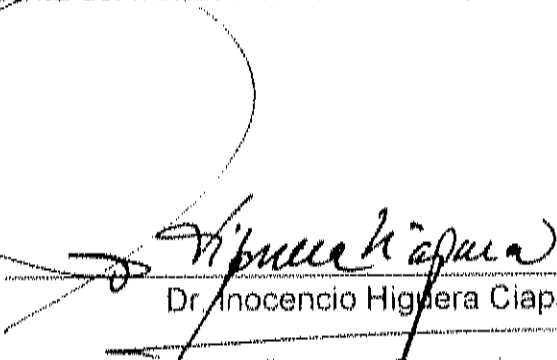
HERMOSILLO, SONORA.

DICIEMBRE DEL 2001

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la producción parcial o total de la tesis con fines académicos se deberá contar con la autorización escrita del director del centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del director o directora de tesis.



Dr. Inocencio Higuera Ciapara

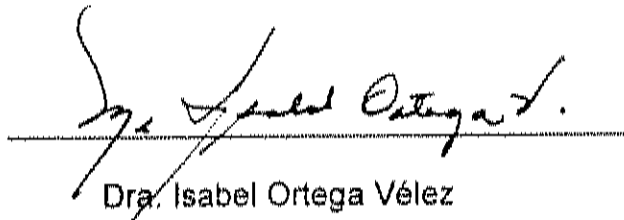
Director General

APROBACIÓN

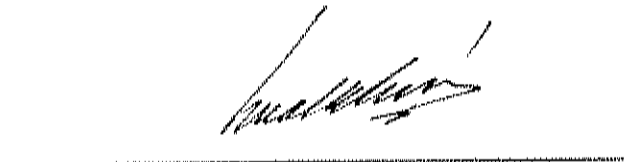
Los miembros del comité designado para revisar la tesis de la Licenciada en Nutrición Nayeli Macías Morales, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias



Dr. Mauro E. Valencia Juillerat



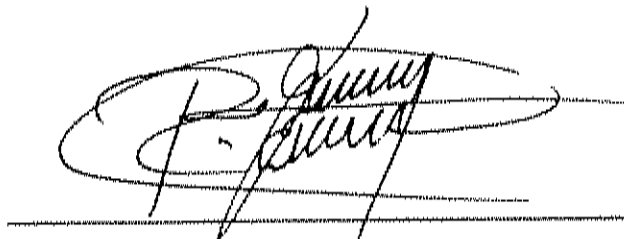
Dra. Isabel Ortega Vélez



Dra. Ana María Calderón de la Barca



Dr. Heliodoro Alemán Mateo



M. en C. Julián Esparza Romero

Director de Tesis

Dr. Mauro E. Valencia Jullierat

(División de Nutrición Humana, CIAD A.C., México).

Asesores del proyecto

Dra. Isabel Ortega Vélez

(División de Nutrición Humana, CIAD A.C., México).

Dra. Ana Maria Calderón de la Barca

(División de Nutrición Humana, CIAD A.C., México).

Dr. Heliodoro Alemán Mateo

(División de Nutrición Humana, CIAD A.C., México).

M. en C. Julián Esparza Romero

(División de Nutrición Humana, CIAD A.C., México).

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Hermosillo, Sonora, México.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por su apoyo a la investigación en México.

A la Agencia Internacional de Energía Nuclear por haber aprobado y financiado este proyecto.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., por haber sido parte indispensable de e la realización del mismo y en la formación de recursos humanos para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en México.

A todos los voluntarios que participaron en el proyecto por apoyarnos con su tiempo e interesarse en él.

Al Dr. Mauro E. Valencia Juillerat por ser un maestro y amigo acérrimo. Gracias por tu entusiasmo y humildad inagotables, pero sobre todo por el ejemplo de vida que representas. A tu familia por compartir su hogar y hacerme sentir como en casa.

Al comité de tesis: Dra. Isabel Ortega Vélez, Dra. Ana María Calderón de la Barca, Dr. Heliodoro Alemán Mateo y al M. en C. Julián Esparza Romero por sus enseñanzas y comentarios a este trabajo.

Al Dr. Juan Pedro Camou Arreola y su equipo de trabajo por su disposición y apoyo.

Al Dr. Inocencio Higuera por sus enseñanzas en las clases de metodología.

A cada una de las personas que trabajan en la realización de proyectos en la División de Nutrición Humana y que hacen posible la ardua tarea científica.

A mis papas, Isra y Lina por que nunca claudicaron, por su amor y apoyo incondicionales.

A mis amigos Grethel y Luis Ricardo por que sin ellos no hubiera sido tan maravilloso construir este sueño. ¡Gracias por siempre estar!

A Gaby González por abrir horizontes. A Helio y Edgar por hacerme cómplice de un sueño... A Gaby Castañeda por las grandes enseñanzas y los momentos inolvidables.

A Juan Carlos por ser fuente de inspiración y creatividad. Pero sobre todo por estar a mi lado durante este tiempo a pesar de la distancia y las dificultades.

A Lupita, Elizabeth Noriega, Alma Delia, Pepe, Maxi, Silvia, Coco, Bertita, Gaby Rivera, Diana, Samuel, Cecy Castellanos, Rita Ramos, Ana Cristina, Lysia, Noemí, Raúl, Alba, Isa y Ale, Adriana y Felipe por que siempre tuvieron una palabra de aliento. A René Urquidez por su paciencia y ayuda.

A Julián y Angélica por su apoyo en mis primeros días en Sonora. Gracias por compartir conmigo.

A René, Graciela, Abraham, Humberto y Alberto por hacerme sentir parte del grupo.

A todas las personas que trabajan en el CIAD por que hacen posible cada día en esta institución.

Al Dr. Juan Carlos López Alvarenga y la Dra. Consuelo Velásquez por dar los primeros pasos conmigo.

DEDICATORIA

A mis padres por enseñarme dos formas tan distintas de ver la vida y con ello la tolerancia a la diversidad.

A Isra, Lina, Amauri y Fernanda por darme la esperanza de una vida en común.

La humildad es la verdad sobre nuestra persona...

Emma Godoy

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE FIGURAS	Xi
RESUMEN	Xii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
Importancia de la composición corporal.....	4
Estudio de la composición corporal.....	6
Diferencias étnico ambientales en la composición corporal.....	10
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS	14
RACIONALIZACIÓN DE METODOS	
Sujetos de estudio.....	16
Estudio de la composición corporal.....	
Dilución con óxido de deuterio.....	16
Bioimpedancia eléctrica.....	20
Estudio antropométrico.....	20
Pletismografía por desplazamiento de aire.....	22
Análisis estadístico.....	25

Capítulo 1

Evaluación de la composición corporal de un grupo de adultos mexicanos con pletismografía por desplazamiento de aire y dilución isotópica con óxido de deuterio..... 26

Capítulo 2

Diseño de ecuaciones específicas para predecir la composición corporal en adultos sanos por medio de bioimpedancia eléctrica..... 39

BIBLIOGRAFÍA GENERAL..... 70

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla1. Características generales del grupo de estudio.....	34
Tabla1. Características generales del grupo de estudio.....	48
Tabla 2. Puntos de corte de IMC y porcentaje de grasa corporal de los hombres y mujeres de este estudio y diferentes grupos étnicos.....	49
Tabla 3. Análisis de regresión para el desarrollo de la ecuación.....	50
Tabla 4. Comparación de la fórmula de BIE generada para hombres y mujeres con ecuaciones similares que se han reportado en la literatura.....	51
Tabla 5. Valores de porcentaje de grasa corporal y de masa corporal libre de grasa por los diferentes métodos	52
Tabla 6. Regresión de la grasa corporal (%) con BOD POD y las técnicas independientes	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Sistema de sublimación	19
Figura 2. Componentes del BOD POD	24
Figura 1. Gráfico de las diferencias en la masa grasa (kg) obtenida con IR y BOD POD, y el promedio de ambas mediciones en un grupo de hombres y mujeres sanos.....	35
Figura 2. Comparación de la masa grasa (kg) con BOD POD y D ₂ O.....	35
Figura 1a. Comparación entre el BOD POD y la ecuación de los pliegues.....	54
Figura 2b. Comparación entre el BOD POD y la ecuación de BIE del fabricante.....	54
Figura 3c. Comparación entre el BOD POD y la ecuación de BIE desarrollada	54
Figura 1d. Diferencias entre el porcentaje de grasa corporal obtenidos con el BOD POD y la ecuación de los pliegues.....	54
Figura 1e. Diferencias entre el porcentaje de grasa corporal obtenidos con el BOD POD y la ecuación de BIE del fabricante.....	54
Figura 1f. Diferencias entre el porcentaje de grasa corporal obtenidos con el BOD POD y la ecuación de BIE desarrollada.....	54

RESUMEN

El estudio de la composición corporal es importante para evaluar los riesgos asociados al sobrepeso, la obesidad y la deficiencia crónica de energía. Existen algunos métodos como la hidrodensitometría y la hidrometría, que permiten conocer la composición corporal. Sin embargo, éstos son costosos y requieren técnicas de laboratorio que restringen su aplicación en investigaciones epidemiológicas. Los métodos como la bioimpedancia eléctrica (BIE) y la antropometría se pueden aplicar en estudios poblacionales. Estos últimos emplean ecuaciones, que en su mayoría se han diseñado para poblaciones caucásica y asiática principalmente. Existen diferencias étnico-ambientales en la composición corporal que si no son tomadas en cuenta limitan la precisión y exactitud de estas técnicas. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar, en dos estudios independientes, la composición corporal de adultos mexicanos utilizando técnicas antropométricas, BIE, dilución isotópica y pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD).

En el primer estudio se evaluó la composición corporal de un grupo de 34 adultos sanos (13 hombres, 21 mujeres) del noroeste de México con pletismografía por desplazamiento de aire e hidrometría para obtener el agua corporal total (ACT) mediante el método de dilución usando el óxido de deuterio por espectroscopia de infrarrojo (dilución isotópica). Se tomó una muestra de saliva basal y otra cuatro horas después de la dosificación con 30g de este isótopo estable del hidrógeno. Las muestras se sublimaron y filtraron, para después medir su concentración por espectroscopia de infrarrojo (Miran 1FF). Una vez que se midió la concentración de Deuterio en las muestras biológicas se calculó el ACT con el principio de dilución y la grasa corporal en base al modelo de dos compartimentos. El promedio de los valores de masa grasa (MG) que se obtuvieron con dilución isotópica y pletismografía por desplazamiento de aire fue de 26.7 ± 12.4 y 25.6 ± 12.4 kg, respectivamente ($p = 0.08$). El análisis de regresión lineal reveló que el intercepto no fue diferente de cero

(0.071, $p = 0.96$) y el valor de la pendiente fue de 0.96 ($p < 0.0001$); por lo que se concluyó que los métodos fueron equivalentes. Por otra parte, el análisis de precisión mostró que la MG con deuterio explicó el 92.3% de la variabilidad del modelo y un error estándar del estimador de 3.4 kg. Finalmente la prueba de Bland y Altman comprobó que la MG que se obtuvo con dilución isotópica no mostró sesgo ($r = 0.017$; $p = 0.093$). El promedio de las diferencias fue de -1.08 Kg de MG (IC: -2.3 a 0.13). Por lo tanto la dilución isotópica por infrarrojo junto con el procedimiento de sublimación aquí expuesto constituye un método analítico factible.

En el segundo estudio, se evaluó la composición corporal de 82 mujeres y 73 hombres con pletismografía por desplazamiento de aire, BIE (ecuación del fabricante y la generada) y con la suma de los panículos adiposos. El objetivo fue caracterizar la composición corporal de adultos sanos y generar una ecuación de BIE específica para población mexicana. La inclusión de variables del modelo se realizó por los métodos de "todas las regresiones posibles" y la selección múltiple por pasos hacia delante y fase reversa. La colinealidad entre las variables del modelo se evaluó en base al número de condicionamiento (CN), el valor eigen (VE) y la inflación de la varianza (VIF). La ecuación se obtuvo a partir de un modelo de regresión múltiple mediante el cual se generaron los coeficientes y la constante. Los hombres tuvieron una edad promedio en años de 33.9 ± 7.3 e IMC de 26.2 ± 3.6 . Las medias \pm DE de la edad e IMC en las mujeres fueron de 34.3 ± 7.6 y 25.4 ± 0.05 respectivamente. Los hombres presentaron mayor adiposidad central que las mujeres, según la relación cintura/ cadera y los panículos adiposos subescapular/ tricípital. La ecuación que se generó ($MCLG = (3.093) \text{ sexo} + (0.571) \text{ talla}^2 / R + (0.218) \text{ peso} - (0.145) \text{ edad} + (0.054) X_c + 4.087$) [$R^2 = 0.95$, $EE_{\text{estimador}} = 2.6$ kg], tuvo un CN = 29.61, EV = 0.08 y una VIF < 10. Al aplicar la ecuación nueva para estimar la grasa corporal bajo el modelo de dos compartimentos, la estimación mejoró 5% con respecto la del fabricante y el $EE_{\text{estimador}}$ disminuyó a 3.27%. Al comparar la estimación de la grasa corporal con las ecuaciones y la medición con el método de referencia, se encontró que la ecuación nueva fue exacta pues no tuvo una intersección diferente de cero ($p = 0.047$) y la pendiente fue igual a 1.0 ($p < 0.001$). No fue así para el caso de la del

fabricante y la ecuación de los pániculos adiposos que fueron inexactas con intersecciones diferentes de cero ($p < 0.001$). La pendiente con la ecuación de los pliegues fue igual a 1.0 ($p < 0.001$) y la de los cálculos del fabricante fue de -0.07 ($p = 0.063$). El análisis de Bland y Altman mostró sesgo para el caso de la grasa corporal que se estimó con los pániculos adiposos; ninguna de las dos estimaciones con BIE mostró sesgo. Por lo anterior se concluye que la ecuación generada por un método de referencia aceptado, ofrece la posibilidad de estimar la composición corporal de este tipo de población con mayor exactitud, precisión y sin sesgo.

INTRODUCCIÓN

La coexistencia de la desnutrición y la obesidad, así como la epidemia mundial de diabetes incrementan el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Este hecho exige un conocimiento más profundo de los cambios en la composición del cuerpo humano y sus implicaciones metabólicas. La antropometría como técnica para caracterizar el tamaño corporal y el crecimiento de los niños y su relación con el nivel de riesgo en este grupo de edad y en adultos probablemente no sea suficiente. Así mismo, los cambios en el estado nutricional y metabólico no son fáciles de evaluar en períodos cortos si solo se utiliza la antropometría. El uso de la composición corporal para valorar programas de nutrición y salud pública es una opción a considerar.

Algunas mediciones, tales como la cintura, la cadera y el índice de masa corporal (IMC, kg/m^2) pueden usarse para diagnosticar y clasificar el sobrepeso, la obesidad y la deficiencia crónica de energía. Sin embargo, hay estudios que confirman la asociación entre la grasa corporal y alteraciones del metabolismo de la glucosa y los lípidos [Siervogel, 1998; Spiegelman, 1992; Couillard, 1996]. Esto confirma la importancia de la relación entre la composición corporal y la salud.

A pesar del reconocimiento de esta relación, en muchos estudios se emplea el IMC como medida de adiposidad. Sin embargo, este último es un indicador de tamaño y no de composición corporal y por lo tanto depende de factores como la edad, el género y el origen étnico [Norgan, 1994]. Prueba de esto último es la discrepancia entre los puntos de corte de IMC y los de grasa corporal entre grupos étnicos. Algunos investigadores han encontrado que individuos de origen chino, de raza negra, indonesios y polinesios tienen diferente cantidad de grasa corporal que individuos de origen caucásico y europeos, aún cuando presentan el mismo valor de

IMC [Swinburn, 1999; Rush, 1997; Deurenberg, 1999; Deurenberg, 1998]. Es probable que esto se deba a que algunos grupos étnicos presentan menos masa esquelética y una longitud de extremidades también menor para el mismo valor de IMC [Deurenberg, 1999]. Pero no todos los estudios confirman estos hallazgos [Fehily, 1990].

Los factores que provocan las discrepancias entre el porcentaje de grasa corporal y el valor de IMC de los diversos grupos étnicos pueden ser diversos. Independientemente de ello, se requiere realizar investigaciones epidemiológicas para establecer puntos de corte de grasa corporal e IMC para los diferentes grupos étnicos.

Métodos como la bioimpedancia eléctrica (BIE) son de gran utilidad para la realización de este tipo de investigaciones. Sin embargo, los equipos de BIE emplean ecuaciones que en la mayoría de los casos se han diseñado y validado en poblaciones caucásicas. Las diferencias en los patrones de distribución de grasa y en la longitud de las extremidades entre grupos étnicos [Norgan, 1994; Okosun, 2000], pueden disminuir la exactitud de la técnica de impedancia al evaluar un grupo con ecuaciones de BIE válidas en otro [Baumgartner, 1996; Fuller, 1989]. Algunos autores han mejorado la precisión y exactitud de la BIE al diseñar y validar las ecuaciones de BIE en grupos específicos, con respecto a métodos de referencia como la hidrometría por dilución con óxido de deuterio, la hidrodensitometría y la absorción dual de rayos X [Rising, 1991; Jakicic, 1998; Lohman, 2000].

El estudio de la composición corporal en muchos de los países emergentes se limita al uso de técnicas como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría. Estas técnicas son más prácticas pero no necesariamente más confiables, debido a que ambas emplean ecuaciones que se validaron en grupos étnicos que no son característicos de estas países.

Otros métodos como la hidrometría por dilución con óxido de deuterio (dilución isotópica) tampoco son del todo viables. Esto se debe en gran medida al costo inaccesible y manejo complicado de los equipos de espectrometría de masas.

En este sentido, la espectroscopia de infrarrojo se ha convertido en una opción, en tanto que es una técnica más barata y sencilla. Este hecho ha facilitado la medición del agua corporal total (ACT) y a partir de ésta la composición corporal y algunos procesos fisiológicos como la lactancia, utilizando óxido de deuterio (D_2O) en países en desarrollo [Lukasky , 1985; . Stancell , 1968].

Por otra parte, la pletismografía por desplazamiento de aire con el BOD-POD es un sistema relativamente nuevo, que al igual que la hidrodensitometría mide la densidad corporal con exactitud [Biaggi, 1998; Lavenhaguen, 1999]. Las mediciones con el BOD-POD son más sencillas que las que se realizan con hidrodensitometría. La razón es que cada sujeto que se evalúa no se sumerge en agua ni se somete a mediciones complicadas del volumen pulmonar residual [McCrorry, 1998]. Lo que finalmente permite evaluar a una gran variedad de individuos.

La BIE y la dilución isotópica con deuterio cuantificado con espectroscopia de infrarrojo son alternativas viables en países en desarrollo y emergentes. De este hecho y de las diferencias étnicas que disminuyen la precisión y exactitud de la BIE se deriva la importancia de generar ecuaciones específicas para nuestra población. Por otra parte, la dilución isotópica es también una alternativa en estudios epidemiológicos, que en un momento dado podría considerarse como método de referencia en condiciones de campo. En las siguientes páginas se explora la validez de ambos métodos con respecto a un método de referencia como lo es la pletismografía por desplazamiento de aire.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Importancia del Estudio de la Composición corporal

Hoy en día la gran mayoría de los países alrededor del mundo se encuentra inmersa en la globalización. Esto trae consigo efectos que van mas allá de la economía. Tal es el caso de la alimentación, que bien puede ser un indicador de los cambios culturales que dicha globalización ocasiona. Ejemplo de esto es el aumento en la ingestión de grasas saturadas y azúcares simples. Estos cambios influyen los riesgos de salud en las sociedades actuales.

En este sentido, el patrón epidemiológico de los países menos desarrollados también ha sufrido transformaciones significativas. La prevalencia de enfermedades infecciosas ha disminuido, en tanto que la de padecimientos crónicos ha aumentado. Este fenómeno se conoce como transición epidemiológica.

Dicha transición se asocia con cambios económicos y el proceso de urbanización. En los países latinoamericanos como Brasil, Chile, Costa Rica y Barbados, la prevalencia de obesidad aumentó como resultado de este fenómeno (Uauy, 2001). Este hecho tiene repercusiones importantes, ya que la obesidad es por sí misma un factor de riesgo para enfermedades cardiovasculares y diabetes.

México no es la excepción a este fenómeno. Las estadísticas de mortalidad muestran un descenso de las enfermedades infecciosas del 9.3 al 8.9% entre 1996 y 1997, en tanto que los padecimientos no transmisibles se han incrementado del 77.7 al 78.2% en el mismo período de tiempo (SSA, 1998). Por otra parte, la Encuesta de Enfermedades Crónicas reveló que la prevalencia de obesidad a nivel nacional es de 21.5%. Esto la convierte en un problema de salud pública importante (SSA, 1993).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la obesidad como el exceso de grasa corporal (WHO, 1998). A pesar de esto la mayoría de los estudios sobre prevalencia de la obesidad emplean el índice de Masa Corporal (IMC) para clasificarla y diagnosticarla. Esto se debe a que este indicador correlaciona con la grasa corporal (Wellens, 1996). A pesar de este hecho, existen pocos estudios que exploren la relación entre este componente corporal y el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y diabetes. La mayoría de las investigaciones se limitan a establecer una asociación positiva entre el peso, el IMC y el patrón de acumulación de la grasa con el desarrollo de alteraciones metabólicas que promueven el desarrollo de enfermedades crónicas (Manson, 1990; Golditz, 1990; Kushner, 1993; Sjöstrom, 1992; Twisk, 1998). Este hecho ha justificado el uso de estos indicadores antropométricos en la definición de riesgo de mortalidad.

A pesar de la utilidad del IMC en el diagnóstico y caracterización de la obesidad, este índice puede subestimar su prevalencia. Deurenberg (1998), realizó un metanálisis con el que demostró que algunos grupos étnicos presentaban porcentajes de grasa corporal mayores que los caucásicos y anglosajones, aún con el mismo valor de IMC. Otros investigadores han encontrado resultados similares (Swinburn, 1999; Gallagher, 2000).

Este hecho pone de manifiesto la importancia de la composición corporal y su interacción con el estado de salud. A continuación se presenta una revisión breve sobre algunos estudios que han evaluado esta relación.

Siervogel et al. (1998), evaluaron la composición corporal de un grupo de 423 adultos y su relación con los lípidos en sangre. Estos investigadores demostraron que los cambios en la masa grasa (MG) correlacionaron con el colesterol total y colesterol LDL. Esta asociación fue independiente de la MG, de la masa libre de grasa (MLG) y de los niveles de lipoproteínas que los sujetos tenían al inicio del estudio. Spiegelman et al. (1992), encontraron resultados similares entre la MG y el IMC con los niveles de glucosa y de presión arterial al evaluar 1551 hombres y mujeres entre 15 y 79 años de edad.

Por otra parte, Couillard et al (1996), estudiaron la relación entre los cambios de la composición corporal y los niveles plasmáticos de lipoproteínas en una cohorte de 94 hombres y 94 mujeres que siguieron durante doce años. Los autores encontraron asociación significativa entre los cambios de la MG y los niveles de colesterol y la relación colesterol total/ colesterol HDL. Concluyeron que el aumento de la MG durante el envejecimiento se asociaron significativamente al deterioro del perfil de lípidos. Estos hallazgos confirmaron, una vez más, la importancia de incluir el estudio de la composición del cuerpo en la evaluación del estado de salud.

Estudio de la Composición Corporal

El estudio de la composición del cuerpo no es reciente. Sus principios generales se desprenden del análisis de cadáveres que realizaron los doctores Widdowson y Dickerson hace más de cincuenta años. La Dra. Widdowson en conjunto con el profesor McCance y Spray, analizó la composición de tres cadáveres de adultos y de un niño de cuatro años. Más tarde el Dr. Dickerson complementó esta información al examinar la composición de órganos y tejidos específicos. Sus hallazgos demostraron que a pesar de que existe variabilidad entre individuos en la proporción entre la MG y la masa corporal libre de grasa (MCLG), el porcentaje de hidratación de este último es relativamente constante. De estos hallazgos se deriva el modelo de dos compartimentos que emplean las técnicas indirectas de evaluación de la composición corporal. Fue el Dr. Behnke quien dio origen al estudio indirecto de la composición corporal cuando aplicó el principio de Arquímedes para estudiar la densidad corporal. Desde entonces han surgido innovaciones tecnológicas que se basan en el modelo de dos compartimentos (Jebb, 1997; Luksaki, 1987; Elia, 1999).

Este modelo considera que la MG y MLG, son dos componentes químicamente distintos. La masa magra contiene 73% de agua, 60 mmol de potasio y una densidad aproximada de 1.1 g/mL. El modelo supone que el porcentaje de

hidratación de la masa libre de grasa permanece constante entre mamíferos de diferentes especies. Este compartimiento está formado por músculo, agua corporal, órganos vitales y huesos. Por su parte, la masa grasa está constituida básicamente por triglicéridos, lo que la hace hidrofóbica y por lo tanto, totalmente distinta del tejido libre de grasa (Jebb, 1997; Elia, 1999; Deurenberg, 1995). Estos principios, como mencionó anteriormente, constituyen la base del estudio de la composición corporal.

De estos conceptos se deriva una gran variedad de métodos que hoy en día permiten conocer la composición del cuerpo humano. Cada uno de ellos se basa en diferentes propiedades fisicoquímicas como la densidad, la resistencia eléctrica de los tejidos o la absorción diferencial de rayos X, entre otras. Su utilidad depende de la posibilidad de evaluar la eficacia de estrategias terapéuticas o programas de intervención (Jebb, 1997; Durnin y Womersley, 1974).

A pesar de la existencia de todos estos métodos, la hidrodensitometría se consideró por mucho tiempo el método de referencia para la evaluación de la composición corporal. Sin embargo, no es un procedimiento libre de desventajas. Una de las principales es que el sujeto que se evalúa, debe cooperar con la medición mientras está sumergido en el agua. Este hecho dificulta su realización en individuos ansiosos, obesos, adultos mayores y enfermos, lo que limita su aplicación en la práctica clínica y estudios epidemiológicos (Deurenberg, 1995; Gundlach, 1980).

Recientemente se diseñó la pletismografía que no requiere la inmersión en agua. Al igual que la hidrodensitometría este sistema evalúa la densidad del cuerpo. La medición del volumen pulmonar se realiza en el momento en que el sujeto se sienta en la cámara. A diferencia de la hidrodensitometría la medición del volumen torácico no compromete la precisión y exactitud del método (McCrorry MA, 1998). Estas condiciones facilitan su aplicación en niños, obesos, ancianos e inclusive en sujetos enfermos o que sufren ansiedad al sumergirse en el agua (Deurenberg, 1995; Gundlach, 1980). A pesar de sus ventajas el equipo de pletismografía, al igual que el de hidrodensitometría, no puede emplearse en estudios de campo.

Otro método que se emplea frecuentemente es la dilución isotópica. Con este procedimiento es posible medir el agua corporal y a partir de ella la MLG, empleando una constante de hidratación del 72.3%. En el pasado fue usual que se emplearan la antiprina, el óxido de tritio y el alcohol para medir el ACT. Recientemente el uso del óxido de deuterio se ha incrementado considerablemente. Este es un isótopo no radioactivo que se distribuye de manera similar al agua y es menos abundante que el hidrógeno. El deuterio no es tóxico en las cantidades que se usan habitualmente, independientemente de que se cuantifique por espectrometría de relación isotópica o espectroscopía de infrarrojo (Lukaski, 1987). La concentración de deuterio puede medirse en muestras biológicas como la orina, la sangre y la saliva, sin embargo, el fluido utilizado dependerá del objetivo del estudio. Las diferencias en su concentración antes y después de la administración de la dosis permiten conocer la cantidad de agua de un individuo. La dilución con deuterio se ha empleado como método de referencia en estudios que evalúan la precisión y exactitud de métodos alternativos que se basan en la antropometría y la bioimpedancia eléctrica (Heymsfield, 1997; Pullicino, 1990).

Existen otras técnicas que permiten conocer la composición del cuerpo. Se sabe que la antropometría se ha empleado para conocer la adiposidad desde el siglo XIX (Kushner, 1993; Going, 1996; Frisancho, 1984). Entre las mediciones corporales que más se emplean se encuentran los pliegues cutáneos. Con ellos es posible generar ecuaciones de regresión que permiten predecir la densidad corporal y con ello calcular la MG y MLG (Uauy, 2001; Durnin y Womersley, 1974). Su utilización se basa en el principio de que los sitios que se seleccionan representan el promedio de la grasa subcutánea y son representativos de la grasa corporal total (Jebb, 1997).

La medición de uno o más pliegues cutáneos permite estimar la grasa corporal con ecuaciones específicas para grupos de edad y sexo como las propuestas por Durnin y Womersley. Esta predice la densidad empleando la transformación logarítmica de la suma de los pliegues tricipital, bicipital, subescapular y suprailiaco (Durnin y Womersley, 1974).

La bioimpedancia eléctrica (BIE), al igual que los pliegues, es un método que se emplea en investigaciones epidemiológicas y en el área clínica. Esto se debe a que ambos son métodos baratos, portátiles y sencillos para conocer la composición corporal en adultos sanos (SSA, 1998; Lukaski, 1987).

La BIE se basa en las diferencias de conductividad y resistencia de los tejidos corporales cuando se aplica una corriente eléctrica. Los estudios que han evaluado la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante bioimpedancia eléctrica, indican que el coeficiente de variación es bajo. Al respecto Levenhagen et al.(1999), compararon los valores de grasa corporal que se obtuvieron con pletismografía por desplazamiento de aire con los medidos con peso bajo el agua y bioimpedancia eléctrica. Con este fin midieron 10 mujeres y 10 hombres sanos. Los métodos mostraron una correlación mayor de 0.90. La diferencia entre pletismografía y el peso bajo el agua fue menor que -0.05% . La pletismografía y la bioimpedancia bioeléctrica presentaron una diferencia de 0.3% . Estos autores encontraron que las discrepancias entre los valores de grasa corporal que obtuvieron con pletismografía e hidrodensitometría dependen del género y la cantidad de grasa corporal. Por el contrario los valores de grasa corporal que se estimaron con BIE no dependieron de la cantidad de grasa corporal.

Cada uno de los métodos tiene características particulares que los hacen más útiles en algunas áreas que en otras. Así, métodos como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría permiten evaluar un gran número de sujetos, lo que las hace una buena opción para estudios epidemiológicos. La pletismografía, la absorción dual de rayos X (DEXA) y la dilución isotópica son más exactos y precisos. Esto los convierte en una buena opción para estudios en los que se requiere información puntual sobre la composición del cuerpo y una buena opción para validar técnicas como la BIE y la antropometría. Por lo tanto, la elección adecuada del método depende de los objetivos, costos y la disponibilidad de recursos, entre otros.

Diferencias Étnicas en la Composición Corporal

Los métodos que se basan en el modelo de dos compartimientos tienen limitaciones. Esto se observa particularmente al evaluar sujetos en los que la densidad y la masa libre de grasa son diferentes a las que este modelo supone (Gundlach, 1980; Lavenhagen, 1999). Las modificaciones en la mineralización ósea y la hidratación de la MG cambian la densidad corporal. Un 2% de variación del agua corporal puede provocar un error del 2.75% en la estimación del porcentaje de grasa corporal. Algunos autores indican que este error puede ser hasta del 4% (Gundlach, 1980; Bray, 1995; Foster, 1996; Lavenhagen, 1999). Estos cambios se deben al crecimiento, desarrollo y envejecimiento, así como a las diferencias étnicas, la actividad física y algunos procesos patológicos (Deurenberg, 1995; Heyward, 1996; Blanchard, 1990; Hill, 1992; Roche, 1996; Reilly, 1995; Heitmann, 1991; Prothro, 1995). Por lo que es de gran importancia la validación de ecuaciones para diferentes grupos poblacionales, la edad, el género y los estados fisiológicos (Baumgartner 1991, Guo 1996).

Uno de los principales factores que influyen la composición del cuerpo es el origen étnico. Existen diferencias étnicas en la composición corporal que están en función del contenido mineral y de agua de la masa libre de grasa. Slaughter et al. (1990), encontraron que el contenido de Ca y tamaño de los huesos de sujetos caucásicos y afroamericanos era distinto. Los afroamericanos tuvieron huesos más grandes que los hombres caucásicos; estas diferencias fueron menos notorias en las mujeres. Sin embargo, cuando las comparaciones se hicieron con respecto al contenido de calcio por unidad de estatura, los hombres de ambos grupos presentaron niveles similares de calcio. Por el contrario, las mujeres afroamericanas tenían mayor cantidad de este mineral que las caucásicas.

En otros estudios se ha demostrado que la densidad corporal es mayor en hombres de raza negra (1.075 g / mL) que en caucásicos (1.065 g/ mL). También se

han encontrado diferencias entre los grupos antes mencionados y latinoamericanos. La densidad promedio de la masa libre de grasa en indios de América, personas de raza negra y latinoamericanos es mayor al valor supuesto de 1.1 g/ mL. Se piensa que el contenido mineral óseo es el causante de estas diferencias (Roche, 1996). En una investigación en la que se evaluó la densidad ósea de 423 asiáticos, latinoamericanos y afroamericanos se encontró que la densidad era mayor en mujeres asiáticas e hispanas que en las caucásicas. En los hombres de los dos primeros grupos la densidad ósea fue menor (Bachrach, 1999). Estos resultados muestran que las diferencias étnicas, justifican el diseño de ecuaciones de predicción de la composición corporal específicas para cada grupo.

Ellis et al (1997), midieron con absorción dual de rayos X la composición corporal de 313 mujeres europeas, afroamericanas y latinoamericanas, cuyas edades iban de los 3 a los 18 años. Al comparar los tres grupos encontraron que las mujeres latinas y las de raza negra tenían un porcentaje de grasa corporal mayor que las mujeres caucásicas, aunque no encontraron diferencias evidentes en el contenido mineral óseo de las hispanas con respecto a las caucásicas.

Ellis (1997), evaluó la composición corporal de 297 hombres de origen europeo, caucásico y latinoamericano con edades entre los 3 y los 18 años. No se encontraron diferencias en el contenido mineral óseo de los hombres de origen latino y los caucásicos. Sin embargo, la grasa corporal fue mayor en hispanos que en caucásicos y menor en hombres de color. Con estos hallazgos concluyó que los valores de referencia de la composición corporal en hombre jóvenes debían ser específicos para cada grupo racial.

Además de la densidad, otros factores como la distribución corporal de grasa, músculo esquelético y tamaño óseo también se modifican con la etnicidad. Se ha demostrado que los Indios americanos, asiáticos, individuos de raza de color y latinos tienden a depositar más grasa en el tronco que en las extremidades. Haffner y colaboradores (1986), compararon la distribución corporal de grasa empleando mediciones de pliegues cutáneos de 1231 México-americanos y 939 caucásicos,

donde se encontró mayor adiposidad central en el primer grupo que en el segundo. Thomas KT y colaboradores (1997), obtuvieron resultados similares al comparar mediciones de pliegues y de circunferencias de cintura y cadera en un grupo de 143 caucásicas y México americanas.

Algunos investigadores han señalado que indios americanos, asiáticos, negros e hispanos tienden a depositar más grasa en el tronco que en las extremidades (Blanchard,1990). Malina et al.(1983), realizaron mediciones antropométricas en 1328 adultos entre los 25 y 64 años. La muestra estaba formada por sujetos anglos y México-americanos residentes de San Antonio Texas. Al comparar estos grupos descubrieron que los México-americanos tenían menor estatura que los anglos, mayor peso y mayor cantidad de grasa en la región subescapular. Esto sugiere diferencias étnicas en el patrón de distribución de grasa. De hecho son estas diferencias, aunadas a las del tamaño de las extremidades las que pueden ocasionar errores en las mediciones de bioimpedancia eléctrica y de pliegues cutáneos (1998). Lo cual refuerza la importancia de desarrollar ecuaciones específicas para estos grupos étnicos.

De Waart et al (1993), evaluaron la MLG de 47 mujeres chinas entre 18 y 43 años de edad. Para ello realizaron mediciones de bioimpedancia eléctrica que se compararon con dilución de isótopos. Las diferencias entre la MLG que se estimó con bioimpedancia eléctrica y fórmulas que incluyeron IMC y pliegues cutáneos fueron de 0.1 kg, 0.5 kg y 0.6 kg respectivamente (Blanchard, 1990). Estas discrepancias deben considerarse al evaluar una población con ecuaciones de predicción que se validaron en otra.

Jakicic et al (1998), midieron la composición corporal de 43 mujeres afroamericanas y 80 caucásicas, todas ellas con índice de masa corporal mayor de treinta. Para ello emplearon una ecuación de bioimpedancia eléctrica diseñada para obesos. Dichas mediciones se compararon con las obtenidas con DEXA. La ecuación de bioimpedancia subestimó los valores de masa libre de grasa en las

cuacásicas (0.9 ± 3.1 kg) y la sobrestimó en las mujeres de color por 1.2 ± 2.8 kg. Se propuso una ecuación específica para cada grupo racial. Al validar la ecuación nueva, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de masa libre de grasa obtenidos con bioimpedancia eléctrica y los medidos con DEXA.

Rising et al.(1991) evaluaron la composición corporal de 156 indios pimas con porcentajes de grasa corporal que iban desde el 11% hasta el 52%. Se derivó una ecuación con el uso de la talla, resistencia bioeléctrica, peso, edad y sexo de 130 sujetos. Dicha fórmula fue aplicada en 26 sujetos. La ecuación nueva incrementó la correlación con el peso hidrostático de 0.70 a 0.92. La subestimación en los valores de la MLG disminuyeron de 5.3 kg con la ecuación del equipo de bioimpedancia a -0.1 kg con la ecuación específica para el grupo que se evaluó.

Las ecuaciones que se usan tanto en la BIE como en los métodos antropométricos se han diseñado a partir de valores de composición corporal obtenidos con hidrodensitometría, entre otros métodos. Dichas ecuaciones son específicas para el grupo a partir del cual se generaron y validaron. La evidencia hasta ahora acumulada sugiere que los diferentes niveles de hidratación de la MLG, masa ósea, la talla y la distribución de grasa varían entre grupos étnicos (Bracco, 1998). Estas variaciones pueden modificar la exactitud de las ecuaciones que emplean la BIE y los pliegues cutáneos.

Es necesario caracterizar la composición corporal de diferentes grupos étnicos, para desarrollar y validar ecuaciones para su estimación. Esto permitirá utilizar métodos como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría en el diagnóstico de programas de intervención para abatir problemas como la desnutrición, el desarrollo de enfermedades crónico degenerativas y otras patologías.

HIPÓTESIS

La estimación de la composición corporal que se obtiene con BIE y pliegues cutáneos puede mejorarse sustancialmente validando estos sistemas en población específica y con relación a métodos de referencia como lo son la pletismografía y la dilución isotópica.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la composición corporal en población adulta saludable del noroeste de México por medio de densitometría y dilución isotópica.

Objetivos Particulares

Evaluar la precisión, exactitud y sesgo del valor de masa grasa (MG) que se calculó en base al modelo de dos compartimentos a partir de la masa corporal libre de grasa (MCLG) que se midió con dilución isotópica con óxido de deuterio, empleando la pletismografía como método de referencia.

Utilizar los valores de masa libre de grasa (MLG) que se midieron con el equipo de pletismografía para mejorar la predicción de esta misma variable en este tipo de población al utilizar técnicas de campo como la bioimpedancia eléctrica.

En los mismos sujetos medir, peso, talla, circunferencia de la cintura, circunferencia de la cadera, los pániculos adiposos, tricípital, bicípital, subescapular y suprailíaco y ancho de codo para determinar complejón.

En base a los datos de impedancia y antropometría obtenidos, proponer ecuaciones multivariadas para la estimación o predicción de la composición corporal de adultos como se ha hecho para otras poblaciones específicas a nivel mundial.

RACIONALIZACIÓN DE MÉTODOS

Sujetos de Estudio

Se evaluó la composición corporal de 155 adultos aparentemente sanos entre 20 y 49 años. de edad. Todos los voluntarios tenían doce horas de ayuno antes de llevar a cabo la valoración con pletismografía por desplazamiento de aire, dilución isotópica, bioimpedancia eléctrica y pliegues cutáneos. Se excluyeron sujetos con diagnóstico de enfermedad coronaria, diabetes Tipo 2, cualquier padecimiento que alterara el equilibrio hidroelectrolítico y mujeres embarazadas o lactando. Tampoco se incluyeron personas en silla de ruedas o con alguna incapacidad física que dificultara las mediciones con uno o varios de los métodos ya mencionados.

Estudio de composición corporal

Dilución con Óxido de Deuterio

En el presente estudio se realizó la evaluación del ACT y la composición corporal con el método de dilución, en condiciones de ayuno (12 horas) y con la vejiga vacía. Con este fin se empleó el Método de Plateau, el cual consiste en la administración de una dosis medida de D₂O y la recolección de una muestra biológica en el momento en que el isótopo alcanza una concentración constante en el ACT. El ACT se estimó a partir de los valores de absorbancia que se obtuvieron con espectroscopía de infrarrojo y la ecuación de la recta que se calculó a partir de una curva estándar. Para ello se usó la siguiente fórmula y una constante de hidratación del 73%:

$$\text{ACT} = ([\text{Dosis administrada (kg)}] * [\text{Pureza de D}_2\text{O} (\%)] * [10^4]) / [\text{Enriquecimiento(ppm)}]$$

Dosis efectiva de óxido de deuterio: Dosis administrada (kg) * [Pureza de D₂O (%)⁴ [10⁴]

Enriquecimiento (ppm): enriquecimiento del fluido biológico a las cuatro horas después de la dosificación. Calculado a partir de los valores de absorbancia .

Dosificación. Se empleó agua deuterada (D₂O) al 99.9% (Cambridge Isotope Laboratories). Cada sujeto recibió una dosis de 30 g de D₂O que se mezclaron con 20 mL de agua. Inmediatamente después de ingerir la dosis todos lo sujetos tomaron 30 mL de agua para enjuagar el frasco que contenía el agua deuterada. Se colectó una muestra de 4 mL de saliva antes de la dosis y a las 4 h después de su ingestión.

Preparación de la muestras. Cada una de las muestras se sublimaron mediante el método desarrollado en el CIAD, A.C. (Calderón de la Barca, 1998). Para ello se congelaron aproximadamente 4mL de muestra de saliva (-70 ° C). Posteriormente se sublimaron a presión reducida hasta la sequedad total. El líquido producto de la evaporación se condensó en una trampa inmersa en un baño de etilenglicol (Figura 1). Con este fin la temperatura del baño se mantuvo entre -20° C y -30° C. Después de la sublimación las muestras se filtraron con milipore de 0.22 µm. El principal objetivo de este procedimiento fue separar el agua y el D₂O de los materiales que puedan interferir con la lectura de infrarrojo.

Medición del óxido de deuterio. La absorbancia máxima del D₂O coincide con la absorbancia mínima del H₂O a una longitud de onda de 4 micrones. La sensibilidad para cuantificar este isótopo depende de la longitud de la celda, la fuente de energía del infrarrojo y el control adecuado de la celda cuando la muestra se introduce en ella. Se sabe que la lectura de la concentración del D₂O se mantiene estable en un rango que va de los 10° C a los 25° C. Para evitar fluctuaciones en la temperatura de la celda del infrarrojo se conectó un baño de etilenglicol. Esto permitió realizar las lecturas a 15° C. Las lecturas de la absorbancia del D₂O se realizaron en un espectroscopio de infrarrojo Miran 1 FF, con una celda de CaF₂ . Se empleó un

espacio de 0.2 mm en la celda y una longitud de onda fija de 2513 cm^{-1} para llevar a cabo la lectura de todas las muestras. El equipo se encendió 15 minutos antes de iniciar el análisis. Durante este tiempo la celda se mantuvo conectada al baño. Después de esto se introdujo agua deionizada en la celda hasta lograr que la lectura se estabilizara la absorbancia en 1.0.

Se preparó una curva de calibración a partir de una solución madre. El D_2O se pesó gravimétricamente y se hicieron las diluciones con agua deionizada desde 2020 a 63 ppm. Antes de cargar cada muestra o estándar se lavó el sistema con agua deionizada. Las muestras y estándares se midieron por duplicado después de ajustar la absorbancia a 1 con agua deionizada o con la muestra de saliva basal. Todas las lecturas se realizaron por duplicado.

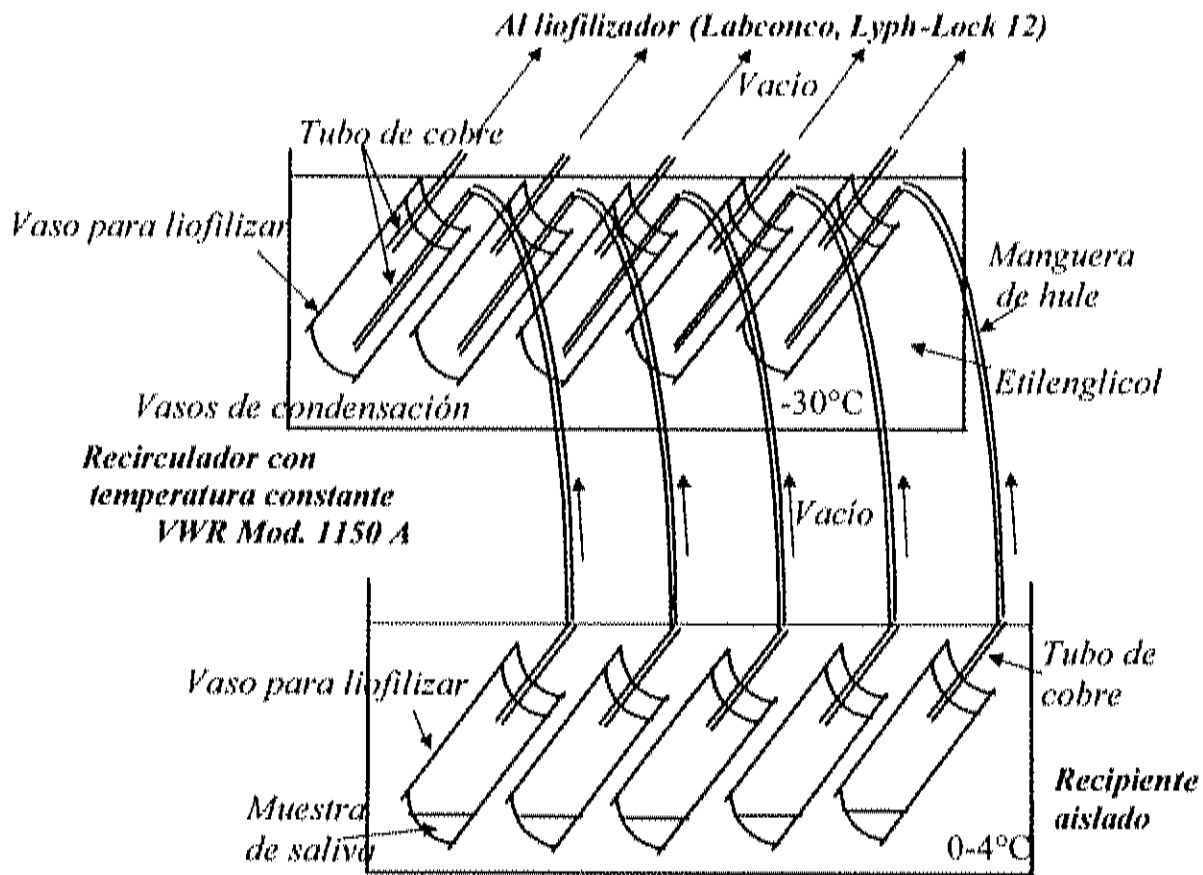


Figura 1. Sistema de sublimación (Calderón de la Barca AM, 1998).

Bioimpedancia eléctrica.

El porcentaje de grasa corporal y la masa corporal libre de grasa, se calcularon con un equipo bioeléctrico (RJL Systems Computerized Bioelectrical Analyzer System Blac-103B). Dichas mediciones se llevaron a cabo según la técnica propuesta por Lukaski (1985). El equipo se calibró con una resistencia de 498Ω de acuerdo las indicaciones del fabricante. Las lecturas debían estar a $\pm 2\Omega$ de este valor.

La medición se realizó en posición supina, con ropa, sin zapatos ni calcetines. Los electrodos se colocaron en el dorso de la mano y pie derechos sobre metacarpios y metatarsos, entre las prominencias distales del ulna y el radio y de los maleolos medio lateral del tobillo. Se hizo pasar una corriente de excitación de $800\mu\text{A}$, 50 Khz a través de los electrodos distales. La caída del voltaje se detectó en los electrodos proximales y la medición de impedancia incluyó tanto resistencia como reactancia. Para el cálculo de la composición del cuerpo se utilizó el programa computacional BODY COMP-II diseñado por el distribuidor especialmente para el equipo mencionado.

Para el desarrollo de las ecuaciones de predicción se utilizaron las lecturas originales de resistencia (R) y reactancia (Xc).

Estudio Antropométrico.

Talla. El individuo se mantuvo con los pies juntos, de espalda y talones colocados contra el estadiómetro, la posición de la cabeza permitía formar una línea imaginaria entre el borde auditivo superior y el borde inferior de la órbita (plano de Frankfort).

Para realizar esta medición se empleó un estadiómetro Holtain (Holtain Limited, Crynich, Difed) (Jordán, 1988).

Peso. El sujeto vestía traje de baño. Para realizar la medición se empleó la balanza electrónica digital de 0 a 150 x 0.01 kg de capacidad del equipo de pletismografía BOD-POD.

Índice de Masa Corporal. Se calculó como $\text{kg} / (\text{m}^2)$, para estimar el grado de obesidad con el valor de este índice (WHO, 1997). Para tal efecto se emplearon las mediciones de peso y talla descritas con anterioridad (AND FV 150KA. MIFD BY A&DCO., LTD).

Circunferencia media del brazo. Se tomó en la porción media entre el acromio y el olécranon con el brazo del sujeto colocado paralelo al cuerpo y colgando relajadamente.

Circunferencia de cintura. Se midió en la región umbilical mientras el sujeto permanecía recostado.

Circunferencia de cadera. Se midió en la porción más ancha de los glúteos.

Ancho de codo. Se realizaron en el brazo derecho en posición perpendicular hasta formar un ángulo de 90° , con los dedos apuntando hacia arriba y el dorso de la muñeca hacia el examinador. La lectura del ancho de codo se realizó en la parte más ancha. Con este fin se empleó un bernier metálico (Holtain Limited, Crynich, Difed). La complexión corporal se obtuvo de los valores propuestos por Frisancho (1984).

Se evaluaron los panículos adiposos tricípital, bicípital, subescapular y supraillaco con un plicómetro Holtain (Crymych, UK). Dicho instrumento tiene una precisión de 10 g/mm^2 y un rango de valores de 0 hasta 49 mm. La densidad corporal se obtuvo con la suma de los cuatro panículos adiposos mediante el procedimiento propuesto por Durnin y Womersley (1974).

Pliegue cutáneo tricípital. Se midió en la parte posterior del brazo sobre el músculo tricípital al nivel de la línea axial y a la misma altura donde se realizó la lectura de la

circunferencia media del brazo. El brazo permanecía paralelo al cuerpo y colgando relajadamente (Jordán, 1988).

Pliegue cutáneo bicipital. Se tomó a la misma altura que el tricipital, sobre el músculo bíceps y con el brazo en posición vertical (Jordán, 1988).

Pliegue cutáneo subescapular. La lectura se efectuó un centímetro por debajo del ángulo inferior de la escápula, siguiendo la hendidura natural de la piel y formando un ángulo de 45 grados.

Pliegue cutáneo suprailíaco. Se midió por encima de la cresta ilíaca y a la altura de la línea axilar media (Jordán, 1988).

Pletismografía por desplazamiento de aire

La pletismografía por desplazamiento de aire es un método relativamente nuevo que al igual que la hidrodensitometría permite evaluar la densidad corporal. Este sistema se ha comparado con el peso hidrostático mostrando que es un método exacto y preciso (McCroy, 1995). En la presente investigación se empleó el sistema de desplazamiento de aire BOD-POD, versión 1.69 (Body Composition System Life Measurements Instruments, Concord, CA).

El BOD-POD consta de una cámara de medición y una de referencia, su volúmenes de 450 y 300 L respectivamente. La cámara de referencia tiene sensores de presión, componentes electrónicos, un circuito para evaluar la respiración, válvulas y un sistema de circulación de aire que permite regular la temperatura (Figura 2). Entre las dos cámaras hay un diafragma electrónico que oscila hacia atrás y adelante, lo que ocasiona cambios de volumen en las dos cámaras que tienen la misma magnitud (350 mL). Esta modificación del volumen provoca fluctuaciones de presión en las dos cámaras (± 1 cm H₂O).

La evaluación de la densidad con el BOD-POD comprende varios pasos. El primero es la calibración, para lo cual se hacen mediciones con la cámara frontal vacía y con un cilindro en su interior (50L).

El segundo paso involucra la medición de los sujetos. Antes de proceder a la evaluación, cada uno de los sujetos recibió una explicación del procedimiento. Todos usaron traje de baño de una sola pieza y gorra de nadador. El estudio involucró la realización de tres mediciones de 20 segundos cada una, el tiempo total de la evaluación fue de 4 minutos. Durante las dos primeras mediciones el sistema predijo el volumen pulmonar. La tercera evaluación incluyó la medición del volumen pulmonar (Dempster, 1995).

Con el estudio del volumen pulmonar se cuantificó el aire en los pulmones y el que está atrapado en el tórax. Con este fin se conectó una manguera a la cámara de referencia en la que se encontraba sentado el sujeto. Durante la valoración se pidió a cada participante que respirara con el ritmo habitual. Después de cinco respiraciones el sistema tapó la salida y entrada de aire a través de la manguera. El relajamiento y contracción del diafragma provocó cambios de presión en los pulmones que finalmente se cuantificara el volumen pulmonar (Dempster, 1995).

El volumen del sujeto se estimó con la fórmula:

$$\text{Volumen corporal} = VC - ASC + 40\%(\text{VGT})$$

En donde VC es el volumen corporal, ASC es el área de superficie corporal y VGT representa el volumen del gas en el tórax. Este valor permite calcular la densidad corporal que finalmente se empleará para obtener la grasa corporal con la fórmula de Siri (1961).

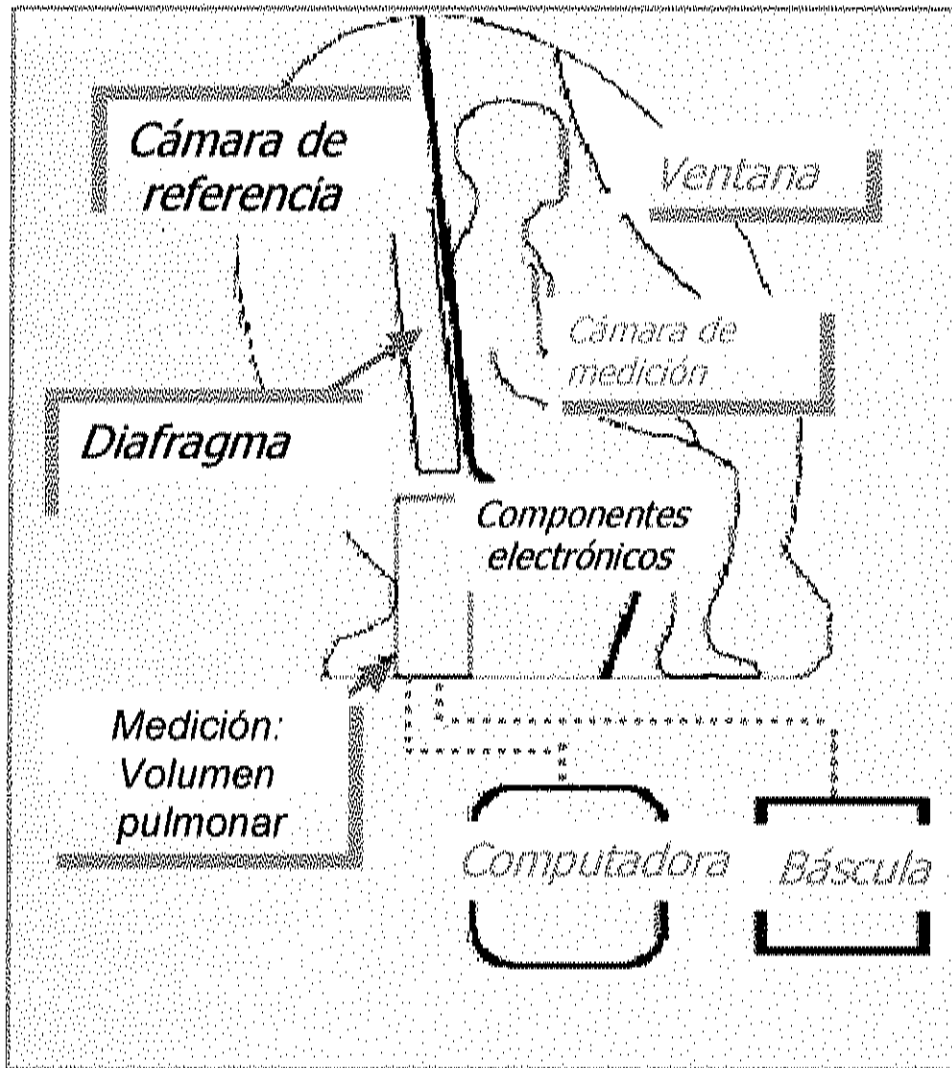


Figura 2. Componentes del BOD POD (Dempster P, 1994).

Análisis Estadístico

Los procedimientos estadísticos en los dos estudios independientes incluyeron: estadística descriptiva, evaluación de la concordancia por el método de Bland y Altman, exactitud y precisión. Adicionalmente el desarrollo del modelo predictivo se realizó con regresión múltiple. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico NCSS 1997 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville Utah). Los detalles específicos para cada estudio se presentan en las secciones de metodología de los capítulos tres y cuatro.

Capítulo 1

Evaluación de la composición corporal de un grupo de adultos mexicanos con pletismografía por desplazamiento de aire y dilución isotópica con óxido de deuterio.

Nayeli Macías, Ana María Calderon de la Barca, Adriana V. Bolaños, Heliodoro Alemán, Julián Esparza and Mauro Valencia.

Body composition in mexican Adults by air displacement pletismography (ADP) with the Bod-Pod and deuterium oxide dilution using infrared spectroscopy (IRS-DOD). Food and Nutrition Bulletin 2002; 23(3):99-102.

Evaluación de la composición corporal de un grupo de adultos mexicanos con pletismografía por desplazamiento de aire y dilución isotópica con óxido de deuterio.

Capítulo redactado como artículo en Inglés:

Nayeli Macías, Ana María Calderón de la Barca, Adriana V. Bolaños, Heliodoro Alemán, Julián Esparza y Mauro E. Valencia. Body Composition in Mexican Adults by Air Displacement Pletismography (ADP) with the Bod-Pod and Deuterium Oxide Dilution Using Infrared Spectroscopy (IRS-DOD). Food and Nutrition Bulletin (submitted, sep 2001)

RESUMEN

Se evaluó la composición corporal de un grupo de 34 adultos sanos (13 hombres, 21 mujeres) del norte de México con pletismografía por desplazamiento de aire y dilución con deuterio. El objetivo fue evaluar la precisión, exactitud y sesgo del valor de masa grasa (MG) que se obtuvo con hidrometría mediante el principio de dilución con óxido de deuterio (dilución isotópica), empleando la pletismografía como método de referencia. Para el caso de dilución isotópica se tomó una muestra de saliva basal y otra cuatro horas después de la dosificación con 30g de este isótopo estable del hidrógeno. Las muestras se sublimaron y filtraron, para después medir su concentración con espectroscopía de infrarrojo (Miran 1FF). El promedio de los valores de MG que se estimaron con espectroscopía de infrarrojo y pletismografía por desplazamiento de aire fue de 26.7 ± 12.4 y 25.6 ± 12.4 kg, respectivamente ($p=0.08$). El análisis de regresión lineal reveló que el intercepto no fue diferente de cero (0.071 , $p= 0.96$) y el valor de la pendiente fue de 0.96 ($p<0.0001$); lo que demuestra que los métodos fueron equivalentes. Por otra parte, el análisis de

precisión mostró que la MG derivada del modelo de dos compartimentos a partir de la masa corporal libre de grasa medida por dilución isotópica utilizando la espectroscopía de infrarrojo explicó el 92.3% de la variabilidad del modelo y un error estándar del estimador de 3.4 kg. Finalmente la prueba de Bland y Altman comprobó que la MG que se obtuvo con dilución isotópica no mostró sesgo ($r = 0.017$; $p = 0.093$). El promedio de las diferencias fue de -1.08 Kg de MG (IC: -2.3 a 0.13).

INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición corporal en países en desarrollo se limita, en muchos casos, al uso de métodos como la bioimpedancia eléctrica y la antropometría. Esto aún cuando ambos emplean ecuaciones que se validaron en grupos étnicos que no son característicos de dichos países.

Otros métodos como la hidrometría mediante el método dilución con óxido de deuterio (dilución isotópica) tampoco son del todo viables. Esto se debe en gran medida al costo inaccesible y manejo complicado de los equipos de espectrometría de masas. En este sentido, la espectroscopía de infrarrojo se ha convertido en una opción, en tanto que es una técnica más barata y sencilla. Este hecho ha facilitado el estudio de la composición del cuerpo y de procesos fisiológicos como la lactancia, utilizando óxido de deuterio (D_2O) en países en desarrollo [1-3].

Por otra parte, el desplazamiento de aire con pletismografía BOD-POD es una técnica relativamente nueva, que al igual que la hidrodensitometría mide la densidad corporal con exactitud [4-8]. Las mediciones con el BOD-POD son más sencillas que las que se realizan con hidrodensitometría. La razón es que el sujeto que se evalúa no se sumerge en agua ni se somete a mediciones complicadas del volumen pulmonar residual [9]. Por eso se utiliza para evaluar a una gran variedad de individuos.

El objetivo del presente estudio fue conocer la exactitud, precisión y sesgo de la masa grasa (MG) que se estimó con dilución isotópica por espectroscopía de

infrarrojo, empleando la pletismografía por desplazamiento de aire como método de referencia.

SUJETOS Y MÉTODOS

Se evaluó la composición corporal de 21 mujeres y 13 hombres adultos sanos de diferentes niveles socioeconómicos. Las características generales del grupo se muestran en la Tabla I. El protocolo de investigación se aprobó por el comité de ética del Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Las mediciones incluyeron pletismografía por desplazamiento de aire, dilución isotópica y evaluación antropométrica, que además de peso y talla incluyó las circunferencias de cintura y de la cadera. El procedimiento de cada una de ellas se describe en los siguientes párrafos. Todos los sujetos firmaron una carta de consentimiento donde se explicó detalladamente en que consistía el estudio.

Evaluación Antropométrica

Peso y Talla.

El peso se midió con la balanza electrónica digital conectada al equipo de pletismografía, con capacidad de 0 a 150 x 0.01kg. Para la medición de la talla se usó un estadiómetro Holtain de $2.05 \pm 5 \times 10^{-4}$ m (Holtain Limited, Dyfed, UK). El individuo se mantuvo de pie con los talones juntos y las puntas separadas, de espalda y con los talones colocados contra el estadiómetro. La posición de la cabeza permitía formar una línea imaginaria entre el borde auditivo superior y el borde

inferior de la órbita. Ambas mediciones se emplearon para calcular el Índice de masa corporal (IMC), $\text{kg}/(\text{m}^2)$.

Cintura y cadera.

La circunferencia de cintura se midió en posición supina a la altura de la cicatriz umbilical. En tanto que la de cadera se tomó en la parte más prominente de los glúteos. Se empleó una cinta de fibra de vidrio Lafayette para realizar estas mediciones (Lafayette Instruments Company Inc. IN, USA) [10].

Composición Corporal

Dilución Isotópica con Óxido de Deuterio.

El agua corporal total (ACT) se midió con el método de dilución isotópica con $^2\text{H}_2\text{O}$. Cada sujeto recibió una dosis de 30.0 g de este isótopo estable, diluido con 20g de H_2O . Después de tomar la dosis ingirieron 30.0 ml de agua. Se colectaron 4 mL de saliva antes y cuatro horas después de la dosificación. Las muestras fueron tapadas, selladas y congeladas a 0°C hasta el día del análisis.

Sublimación de las Muestras. Cada muestra de saliva se sublimó a presión reducida hasta sequedad total, esto permitió separar el agua de los solutos. Antes de iniciar el proceso de sublimación las muestras se congelaron a -70°C [3]. La tasa de sublimación fue de 1 mL/ h. El líquido producto de la evaporación se condensó en una trampa inmersa en un baño de etilenglicol, cuya temperatura se mantuvo entre -20°C y -30°C para evitar la fraccionación del isótopo. Una vez que se recuperó la totalidad de cada muestra se procedió a filtrar con milipore de $0.22\ \mu\text{m}$.

Cuantificación del Óxido de Deuterio con Espectroscopía de Infrarrojo. Se empleó espectroscopía de infrarrojo (MIRAN-1F, Foxboro Co., USA) y una curva de concentración conocida para cuantificar el deuterio en las muestras de saliva. Para esto se colocó una celda de CaF_2 de 0.22 , cuya temperatura se reguló con un circulador de etilenglicol a 15°C (VWR mod. 1150A). Las lecturas se realizaron en una longitud de onda fija de 2513 cm^{-1} . Una vez que se estabilizó la temperatura, se inyectó 1 mL del estándar. Los estándares de D_2O (99.9 % de pureza) y el agua deionizada, se pesaron con una balanza gravimétrica. El contenido de deuterio se calculó a partir de la curva de calibración después de sustraer la abundancia natural del isótopo en el estándar de concentración cero (agua deionizada o muestras de saliva). Una vez que se obtuvo la concentración del isótopo en las muestras de saliva se calculó el ACT. La MCLG se estimó usando una constante de hidratación de 0.73 [11]. Finalmente este valor se resto del peso total de cada sujeto para obtener la MG, en base al modelo de dos compartimentos.

Densitometría con Pletismografía por Desplazamiento de Aire

La densidad corporal se evaluó con un equipo de desplazamiento de aire BOD POD, versión 6.1 (Body composition system, Life measurements Instruments, Concord, CA). El BOD-POD consta de dos cámaras, un instrumento situado entre ellas, produce fluctuaciones de presión que permiten conocer el volumen corporal. El sistema se ha descrito a detalle con anterioridad [12]. El equipo se calibró al vacío y con un cilindro de volumen conocido (50-L). Con esta información el BOD-POD calcula una ecuación de regresión que relaciona la tasa de los cambios de presión en las dos cámaras para conocer el volumen corporal. Una vez que terminó la calibración se dieron las instrucciones sobre la medición a cada sujeto. Todos los sujetos usaron traje de baño de una pieza y gorra de nadador. El equipo de pletismografía emplea el cálculo de superficie corporal para corregir el volumen negativo que causan los efectos isotérmicos de la piel. Cada evaluación consta de

tres mediciones de aproximadamente 50 segundos. La tercera involucra la evaluación del volumen pulmonar, que incluye la cuantificación de cualquier aire atrapado en el tórax (VPT) [12]. Esta valoración es muy similar a la prueba de funcionamiento pulmonar. El equipo de pletismografía estimó la densidad con la fórmula $d = m / v$ y finalmente empleó este valor para calcular la grasa corporal con la ecuación de Siri [13].

Análisis Estadístico

Se empleó el programa NCSS 1997 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville Utah) para el análisis de datos. Los resultados se expresaron como promedios \pm desviación estándar. Se analizó la exactitud de la dilución isotópica con respecto al BOD POD mediante el procedimiento de regresión. Se puede considerar que un método es exacto si la pendiente no es significativamente diferente de 1.0 y el intercepto no es diferente de cero. Es decir que la línea de identidad no difiere de la línea de regresión. Esta fue la hipótesis que se evaluó en este estudio. La precisión se valoró con la R^2 y el error estándar de la estimación de la MG.

Se examinó la concordancia entre los métodos mediante la prueba de Bland y Altman [14]. Dicho método considera que el promedio de los métodos que se comparan es la mejor estimación del valor real de una medición. El análisis de regresión entre el promedio de las diferencias y el promedio de los métodos permite establecer el sesgo entre las dos mediciones. En la presente investigación se comparó la MG medida con dilución isotópica y BOD POD, que se empleó como método de referencia.

La reproducibilidad de las mediciones de densidad y la validación de las mediciones del VTP se han reportado previamente [9]. Se estudió la reproducibilidad

del BOD POD que se usó en la presente investigación, para lo cual se evaluaron 91 sujetos en dos ocasiones durante el mismo día.

RESULTADOS

Las características del grupo en estudio se presentan en la Tabla 1. El rango del peso corporal varió de 45 a 114 kg y el IMC de 17 a 47. Los 34 sujetos (13 hombres y 21 mujeres) presentan un promedio de IMC y porcentaje de grasa corporal con dilución isotópica con deuterio por espectroscopia de infrarrojo (EIR- D₂O) de 26.5 (17.3 a 47.1) y 35.5 (8.8 a 52.8) respectivamente. El porcentaje de grasa corporal se obtuvo por cada método en base al modelo de dos compartimentos (masa grasa y masa libre de grasa).

El promedio de las densidades corporales fue de 1.0292 ± 0.019 y 1.0296 ± 0.019 en la primera y segunda medición respectivamente. El análisis de reproducibilidad de ambos grupos de mediciones mostró un coeficiente de variación de 1.89%.

Una vez que se obtuvieron los valores de MCLG por EIR- D₂O se valoró la exactitud de masa grasa (kg) calculada en base al modelo de dos compartimentos. Con este fin se realizó un modelo de regresión en el que la masa grasa (MG) evaluada con el BOD POD se consideró el método de referencia y por tanto la variable dependiente. No se encontraron diferencias significativas entre línea de identidad y la relación de MG de los dos métodos. El intercepto no fue diferente de cero (0.071, $p= 0.096$) y la pendiente fue similar a 1.0 (0.96, $p<0.0001$). Esto muestra que el EIR- D₂O es exacto y por lo tanto que los métodos son equivalentes (Figura 1).

El valor promedio de MG fue de 26.7 ± 12.4 y 25.6 ± 12.4 Kg, para EIR- D₂O y ADP respectivamente ($p>0.08$). La precisión se examinó con la R² y el error estándar del estimador, en base a un modelo de regresión entre EIR- D₂O y el valor de grasa medido con el BOD POD. La técnica con espectroscopia de infrarrojo

explicó el 92.3% de la variabilidad y el error estándar fue de 3.4 Kg (Figura 1). El análisis de Bland Altman examinó la discrepancia entre dos técnicas en función de la masa grasa. La prueba mostró que el promedio de las diferencias fue de -1.08 (CI: -0.13 a 2.3) Kg de masa grasa (Figura 2). No se encontró sesgo en la estimación de la masa grasa por dilución con respecto al método de referencia, el BOD POD ($r = 0.017$; $p = 0.93$) (Figura2).

Tabla 1. Características del grupo de estudio.

<i>Variable</i>	<i>Mujeres (n=21)</i>		<i>Hombres (n=13)</i>	
	<i>Promedio ± DE</i>	<i>Rango</i>	<i>Promedio ± DE</i>	<i>Rango</i>
Edad (años)	37.1 ± 10.8	24-57	39.2 ± 13.8	27-70
Peso (kg)	70.2 ± 17.4	45.3-114.7	75.1 ± 19.5	47.9-108.6
Talla (m)	1.6 ± 0.06	1.5-1.71	1.72 ± 0.05	1.66-1.80
IMC (kg/m ²)	27.2 ± 6.6	18.3-47.3	25.1 ± 6.28	15.5-34.0
Cintura/cadera	0.77 ± 0.05	0.7-0.9	0.91 ± 0.06	0.83-1.03
<i>Dilución con Óxido de Deuterio</i>				
Agua Corporal (kg)	29.7 ± 4.6	23.8-42.1	38.6 ± 7.4	28.1-53.1
Masa libre de grasa (Kg)	40.7 ± 6.4	32.7-57.7	52.9 ± 10.1	38.4-72.8
Masa grasa (kg)	30.2 ± 13.2	4.0-56.9	22.1 ± 10.1	8.9-35.8
<i>BOD POD</i>				
Densidad	1.013 ± 0.018	0.988-1.056	1.040 ± 0.020	1.009-1.066
Masa grasa (kg)	28.4 ± 12.3	8.6-58.7	21.2 ± 11.8	6.9- 44.1
Grasa (%)	38.6 ± 9.3	19.0-51.2	26.3 ± 8.9	14.4-26.3

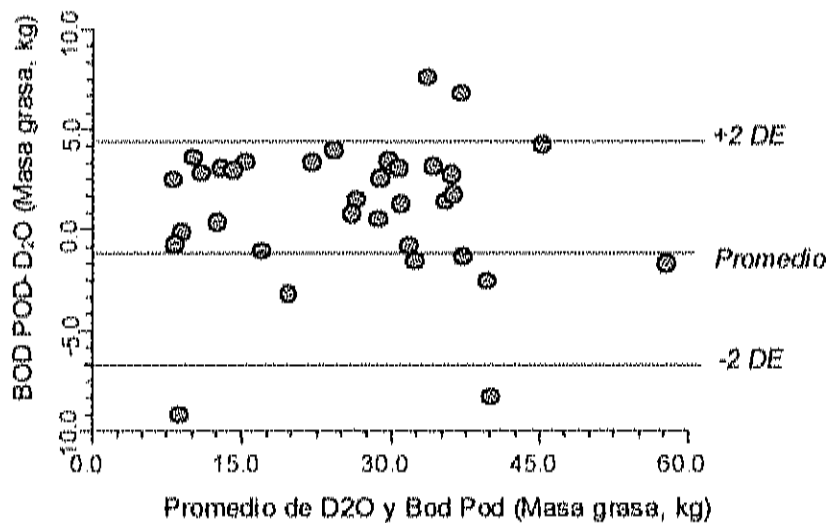


Figura 1. Gráfico de las diferencias en la masa grasa (kg) obtenida con IR y BOD POD, y el promedio de ambas mediciones en un grupo de hombres y mujeres sanos ($n= 34$; edad= 38.2 ± 11.78683).

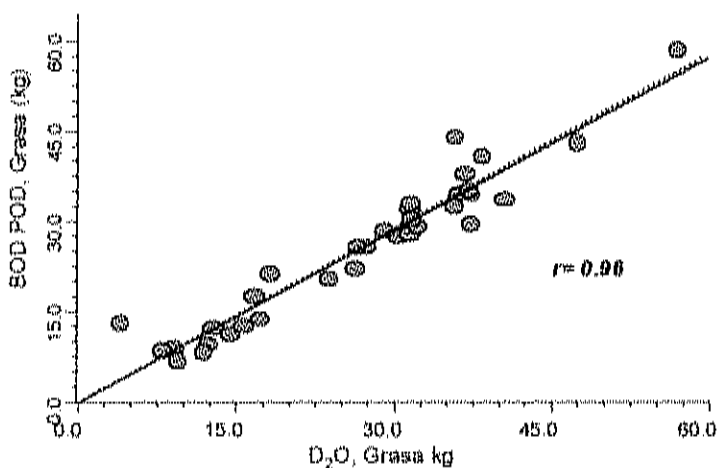


Figura 2. Comparación de la masa grasa (kg) con BOD POD y D_2O . La línea punteada es la línea de identidad.

DISCUSIÓN

Los sujetos que participaron en el estudio muestran un rango amplio de valores de composición corporal, que se pueden considerar representativos de la región en la que se realizó la investigación. El procedimiento que se empleó para dosificar, fue similar al de otros investigadores [1].

La estimación de la masa libre de grasa se realizó considerando una constante de hidratación (0.73), a partir de este valor fue posible estimar la grasa corporal al emplear el modelo de dos compartimentos. En este estudio se empleó la densitometría con BOD POD como procedimiento de referencia. La comparación entre los métodos no mostró diferencias estadísticamente significativas. La precisión del EIR- D₂O se examinó usando el valor de grasa corporal con BOD POD como variable dependiente. La relación entre ambas variables no difirió de la línea de identidad, ya que el intercepto no fue significativamente diferente de cero y la pendiente distinta de 1, lo que demuestra que los métodos son equivalentes. El análisis de precisión mostró que la R² explicó el 92.3 % de la variabilidad. Sin embargo, el error estándar del estimador fue de 3.49 kg de grasa, lo que es más alto que lo que muestran otros estudios con el mismo valor de R² y 2.4 kg de masa grasa como error estándar [15]. Esto puede deberse a la variabilidad inherente al método de dilución isotópica.

El análisis de Bland y Altman [14], con el que se examinó la discrepancia entre los métodos en función de la masa grasa, no mostró diferencias significativas. Sin embargo, el grupo de estudio es pequeño, por lo que se considera necesario realizar investigaciones futuras para validar el método de EIR- D₂O con la espectrometría de masas.

En resumen, los métodos para evaluar la composición del cuerpo humano en condiciones de campo en países en desarrollo sin acceso a la espectrometría de masas, se han convertido en una opción importante. Esto se debe a que harán posible la evaluación del impacto de programas de intervención en nutrición y el

riesgo de padecer enfermedades que se relacionan con el medio ambiente, estilos de vida y predisposición genética a diabetes tipo 2 y enfermedades crónicas degenerativas. Por lo tanto la dilución isotópica con deuterio por espectroscopia infrarroja junto con el procedimiento de sublimación aquí expuestos constituye un método analítico factible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lukasky HC, Johnson E. A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D₂O and infrared absorption of biological fluids. *Am J Clin Nutr* 1985; 41:363-70.
2. Stancell MJ, Mojica L. Determination of body water content using trace levels of Deuterium Oxide and Infrared Spectrophotometry. *Clin Chem* 1968; 14(11): 112-24.
3. Calderón de la Barca AM, Bolaños AV, Caire Juvera G, Román Pérez R, Valencia ME, Casanueva E, Coward WA. Evaluación del consumo de leche humana por dilución con deuterio y detección por espectroscopia de infrarrojo. *Per Rep Hum* 1998; 12: 142-150.
4. Biaggi R, Vollman M, Nies M, Flakoll P, Levenhagen D, Sun M, Karabulut Z, Chen K. Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 898-903.
5. Sardina L, Lohman T, Teixeira P, Guedes D, Going S. Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy X-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men. *Am J Clin Nutr* 1998; 68: 786-93.
6. Dewit O, Fuller NJ, Fewtrell M, Elia M, Well J. Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis. *Arch Dis Child* 2000; 82:159-64.

7. Lavenhaguen DK, Borel MJ, Welch DC, Piasecki JH, Piasecki DP, Chen kY, Flakoll PJ. A comparison of air displacement plethysmography with three other techniques to determine body fat in healthy adults. *JPEN J Parent Enter Nutr* 1999; 23 (5): 293-99.
8. McCroy M, Gomez T, Bernauer E, Molé P. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(12): 1686-91.
9. McCrory MA, Molé PA, Gomez TD, Dewey KG, Bernauer EM. Body composition by air displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes. *J Appl Physiol* 1998; 84(4): 1475-79.
10. WHO. Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity. Geneva World Health Organization, 1997.
11. Sheng HP, Huggins RA. A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *Am J Clin Nutr* 1979; 32: 630-47.
12. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:1692-97.
13. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, eds. *Techniques for measuring body composition*. National Academy of Science. Washington, DC: National Research Council, 1961: 223-44.
14. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-310.
15. Goran MU, Toth MJ, Poehlman ET. Assessment or research-base body composition techniques in healthy elderly men and women using the four compartment. In *J Obes* 1998(22): 135-142.

Capítulo 2

Diseño de ecuaciones específicas para predecir la composición corporal en adultos sanos con bioimpedancia eléctrica.

Diseño de ecuaciones específicas para predecir la composición corporal en adultos sanos con bioimpedancia eléctrica.

RESUMEN

El estudio de la composición corporal es importante para la evaluación de los riesgos que se asocian al sobrepeso, la obesidad y la deficiencia crónica de energía. Hay diferencias en el tamaño corporal entre grupos étnicos, que afectan la estimación de la composición corporal con bioimpedancia eléctrica (BIE), de este hecho se desprende la importancia de diseñar ecuaciones específicas para los diferentes grupos. El objetivo del presente estudio fue caracterizar la composición corporal de adultos sanos y generar una ecuación de BIE específica para población mexicana. Se evaluó la composición corporal de 82 mujeres y 73 hombres con pletismografía por desplazamiento de aire, BIE (ecuación del fabricante y la generada) y con la suma de los panículos adiposos. La inclusión de variables del modelo se realizó por los métodos de "todas las regresiones posibles" y la selección múltiple por pasos hacia adelante y hacia atrás. La sustentabilidad del modelo se evaluó en base al número de condicionamiento (CN), el valor eigen (VE) y la inflación de la varianza (VIF). La ecuación se obtuvo a partir de un modelo de regresión múltiple mediante el cual se generaron los coeficientes y la constante. Las medias \pm DE de la edad e IMC de los hombres fueron de 33.9 ± 7.3 y 26.2 ± 3.6 , respectivamente. En las mujeres las medias \pm DE de la edad e IMC fueron de 34.3 ± 7.6 y 25.4 ± 0.05 . Los hombres presentaron mayor adiposidad central que las mujeres, al considerar la relación cintura/ cadera y los panículos adiposos subescapular/ tricípital. La ecuación que se generó (MCLG= (3.235) sexo+ (0.556) talla²/ R+ (0.227) peso - (0.156) edad + (0.055) Xc + 4.356) [$R^2=0.95$, $EE_{\text{estimador}}= 2.3$, $F = 610.07$ ($p<0.000$)], tuvo un CN= 30.06, EV = 0.08 y una VIF=7.39. Al aplicar la ecuación nueva para estimar la grasa corporal bajo el modelo de dos compartimentos, la estimación mejoró 5% con respecto a los cálculos del fabricante y el $EE_{\text{estimador}}$ disminuyó a 3.27%. Al comparar

la estimación de la grasa corporal con las ecuaciones y la medida con el método de referencia, se encontró que la ecuación nueva fue exacta, pues no tuvo una intersección diferente de cero ($p = 0.047$) y la pendiente fue igual a 1.0 ($p < 0.001$). No fue así para el caso de la ecuación del fabricante y la de los plicómetros adiposos que fueron inexactas con intersecciones diferentes de cero ($p < 0.001$). El análisis de concordancia mostró sesgo para el caso de la grasa corporal que se estimó con los plicómetros adiposos; ninguna de las dos estimaciones con BIE mostró sesgo. Por lo anterior se concluye que la ecuación generada a partir de un método de referencia aceptado, ofrece la posibilidad de estimar la composición corporal de este tipo de población con mayor exactitud, precisión y sin sesgo.

INTRODUCCIÓN

La coexistencia de la desnutrición y la obesidad, así como la epidemia mundial de diabetes incrementan el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Este hecho exige un conocimiento más profundo de los cambios en la composición del cuerpo humano y sus implicaciones metabólicas. La antropometría como técnica para caracterizar el tamaño corporal y el crecimiento de los niños y su relación con el nivel de riesgo en este grupo de edad y en adultos probablemente no sea suficiente. Así mismo, los cambios en el estado nutricional y metabólico no son fáciles de evaluar en períodos cortos si sólo se utiliza la antropometría. El uso de la composición corporal para valorar programas de nutrición y salud pública, en este sentido, es una opción que se debe considerar.

Se han propuesto el 25% y 35% de grasa corporal como puntos de corte para obesidad en hombres y mujeres respectivamente [WHO, 1998]. Otras mediciones, tales como la cintura, la cadera y el índice de masa corporal (IMC, kg/m^2) pueden usarse para diagnosticar y clasificar el sobrepeso, la obesidad y la deficiencia crónica de energía. Estos indicadores antropométricos se emplean en el diagnóstico

de la obesidad aún cuando hay estudios que confirman que la grasa corporal es un factor de riesgo para alteraciones del metabolismo de la glucosa y los lípidos [Siervogel, 1998; Spiegelman, 1992; Couillard, 1996]. La asociación entre la grasa corporal y los trastornos del metabolismo confirma la importancia que tiene la composición corporal en la salud.

A pesar del reconocimiento de esta relación en muchos estudios se emplea el IMC como medida de adiposidad. Aunque, este último es más un indicador de tamaño corporal que de composición del cuerpo y por lo tanto, depende de factores como la edad, el género y el origen étnico [Norgan, 1994]. Prueba de esto último es la discrepancia entre los puntos de corte de IMC y los de grasa corporal entre grupos étnicos. Algunos investigadores han encontrado que individuos de origen chino, de raza negra, indonesios y polinesios tienen mayor o menor cantidad de grasa corporal que individuos de origen caucásico y europeos, aún cuando presentan el mismo valor de IMC [Swinburn, 1999; Rush, 1997; Deurenberg, 1999; Deurenberg, 1998]. Es probable que esto se deba a que algunos grupos étnicos presentan menos masa esquelética y una longitud de extremidades también menor para el mismo valor de IMC [Deurenberg, 1999]. Sin embargo, no todos los estudios confirman estos hallazgos [Fehily, 1990].

Independientemente de los factores étnicos y ambientales que provocan discrepancias entre el porcentaje de grasa corporal y el valor de IMC de diversos grupos, es necesario realizar investigaciones epidemiológicas para establecer puntos de corte de grasa corporal e IMC que puedan asociarse a los factores de riesgo que provocan el desarrollo de las enfermedades crónicas.

Los métodos como la bioimpedancia eléctrica (BIE) son de gran utilidad para la realización de este tipo de investigaciones. A pesar de la utilidad de los equipos de BIE, estos emplean ecuaciones que en la mayoría de los casos se han diseñado y validado en poblaciones caucásicas. Las diferencias en los patrones de distribución de la grasa y la longitud de las extremidades entre grupos étnicos [Norgan, 1994; Okosun, 2000], pueden disminuir la exactitud de las mediciones de impedancia al

evaluar un grupo con ecuaciones de BIE validadas en otro grupo [Baumgartner, 1996; Fuller, 1989]. Algunos autores han mejorado la estimación de la composición corporal al validar las ecuaciones de BIE en grupos específicos con respecto a métodos de referencia como la dilución con óxido de deuterio, la hidrodensitometría y la absorción dual de rayos X [Rising, 1991; Jakicic, 1998; Lohman, 2000].

La pletismografía por desplazamiento de aire con BOD-POD es una técnica relativamente nueva, que al igual que la hidrodensitometría mide la densidad corporal con exactitud [Dewitt, 2000; Biaggi, 1999; Lavenhagen, 1999; McCrory, 1995; Sardina, 1998]. Las mediciones con el BOD-POD son más sencillas que las que se realizan con hidrodensitometría. La razón es que cada sujeto que se evalúa no se sumerge en agua, ni se somete a mediciones complicadas del volumen pulmonar residual [McCrory, 1998]. Lo que finalmente, permite evaluar a una gran variedad de individuos y lo convierte en una opción viable.

El objetivo del presente estudio fue estudiar la composición corporal de adultos mexicanos sanos de ambos sexos y edades entre 20 y 50 años por densitometría con el BOD POD, antropometría y BIE. Así como mejorar las estimaciones con BIE al desarrollar la ecuación empleando pletismografía por desplazamiento de aire con el BOD POD como método de referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Grupo de Estudio

Se evaluó la composición corporal de 155 adultos aparentemente sanos de ambos sexos entre 20 y 50 años de edad que se seleccionaron por muestreo intencional no probabilístico. Todas las mediciones se hicieron después de doce horas de ayuno. Se excluyeron sujetos con diagnóstico de enfermedad coronaria,

diabetes Tipo 2, cualquier padecimiento que alterara el equilibrio hidroelectrolítico y mujeres embarazadas o lactando.

Estudio Antropométrico

El peso se midió con una balanza electrónica digital con capacidad de 0 a 150 x 0.01 kg conectada al equipo de pletismografía. La medición de la talla de pie se realizó con un estadiómetro Holtain de $2.05 \pm 5 \times 10^{-4}$ m (Holtain Limited, Dyfed, UK). Cada individuo se mantuvo con los pies juntos, de espalda y con los talones colocados contra el estadiómetro. La posición de la cabeza permitía formar una línea imaginaria entre el borde auditivo superior y el borde inferior de la órbita. Ambas mediciones se emplearon para construir el índice de masa corporal [(IMC), $\text{Kg}/(\text{m}^2)$].

La circunferencia de cintura se midió en posición supina a la altura de la cicatriz umbilical. En tanto que la de cadera se midió en la parte más prominente de los glúteos. Las mediciones se realizaron con una cinta de fibra de vidrio Lafayette (Lafayette Instruments Company Inc. IN, USA) [WHO, 1997].

Se midieron los pániculos adiposos tricípital, bicípital, subescapular y suprailiaco. Para la estimación de la densidad corporal se emplearon las ecuaciones específicas para grupo de edad y sexo propuestas por Durnin y Womersley [1974]. Este valor se utilizó para calcular el porcentaje de grasa corporal con el modelo propuesto por Siri (1961).

Para la medición del ancho de codo, cada sujeto colocó el brazo derecho en posición perpendicular hasta formar un ángulo de 90° , con los dedos apuntando hacia arriba y el dorso de la muñeca hacia el examinador. La lectura se realizó en la parte más ancha con un bernier metálico (Holtain Limited, Crynch, Difed) [Frisancho, 1984].

Bioimpedancia Eléctrica

El porcentaje de grasa corporal y la masa corporal libre de grasa, se calcularon con un equipo bioeléctrico (R.J.L. Systems Computerized Bioelectrical Analyzer System Biac-103B). El equipo se calibró con una resistencia de 498Ω de acuerdo las indicaciones del fabricante. Verificando que las lecturas no rebasaran $\pm 2 \Omega$ de este último valor.

La evaluación se realizó en posición supina, con ropa, sin zapatos ni calcetines. Los electrodos se colocaron en el dorso de la mano y pie derechos sobre metacarpios y metatarsos, entre las prominencias distales del ulna y el radio y de los maleolos medio laterales del tobillo según la técnica propuesta por Lukaski (1985). Se hizo pasar una corriente de excitación de $800 \mu\text{A}$, 50 Khz a través de los electrodos distales. Se detectó la caída del voltaje en los electrodos proximales. La medición de impedancia incluyó resistencia y reactancia. Para el cálculo de la composición del cuerpo se utilizó el programa computacional BODY COMP-II diseñado por el distribuidor especialmente para el equipo mencionado.

Densitometría con Pletismografía por Desplazamiento de Aire

La densidad corporal se avaluó con un equipo de desplazamiento de aire BOD POD, versión 6.1 (Body composition system, Life measurements Instruments, Concord, CA). El BOD-POD consta de dos cámaras. Un instrumento situado entre ellas, produce fluctuaciones de presión que permiten conocer el volumen corporal. El sistema se ha descrito a detalle con anterioridad [Dempster, 1995]. El equipo se calibró al vacío y con un cilindro de volumen conocido (50-L). Los valores provenientes de esta calibración permiten conocer los cambios de presión en las dos

cámaras y estimar el volumen corporal. Después del proceso de calibración se explicó detalladamente a cada sujeto la medición al sujeto. Todos los voluntarios usaron traje de baño de una pieza y gorra de nadador. Cada evaluación constó de tres mediciones de aproximadamente 20 segundos. En la tercera se llevó a cabo la cuantificación del volumen pulmonar y cualquier aire atrapado en el tórax. Esta última es una prueba muy similar a las de funcionamiento pulmonar [Dempster, 1995]. El sistema empleó la ecuación de Siri para el cálculo de la grasa corporal [Siri, 1961].

Análisis Estadístico

Análisis Descriptivo.

Se utilizó el programa NCSS 1997 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville Utah) para el análisis de los datos. Los resultados se expresaron como promedios \pm desviación estándar. Se usaron la prueba de t y de Wiconson para cuantificar las diferencias entre variables paramétricas y no paramétricas.

Exactitud y Precisión.

Se analizó la exactitud de los diferentes métodos y la ecuación nueva con respecto al BOD POD mediante el procedimiento de regresión. Se puede considerar que un método es exacto si la pendiente no es significativamente diferente de 1.0 y el intercepto no es diferente de cero. Es decir, que la línea de identidad no difiere de la línea de regresión. Esta fue la hipótesis que se evaluó en este estudio. La precisión se valoró mediante el modelo de R^2 y el error estándar de la estimación del porcentaje de grasa corporal [Goran, 1998].

Desarrollo de la Ecuación.

El desarrollo del modelo de predicción de la masa corporal libre de grasa con BIE se llevó a cabo usando una combinación de métodos. Entre estos: 1) todas las regresiones posibles y 2) la selección por pasos, éste último incluyó fase hacia adelante y fase reversa. Finalmente, las variables que se seleccionaron con los procedimientos mencionados se analizaron por regresión múltiple. Para evitar el efecto de colinearidad (correlación entre las variables independientes) se corroboró el ajuste del modelo en base al diagnóstico de regresión, que incluyó el número de condicionamiento, el valor de Eigen y el factor de inflación de la varianza [Kleinbaum,1998]. Para evaluar la sustentabilidad del modelo se emplearon el valor de R^2 , el error estándar del estimador y el valor de F . El valor del coeficiente de Mallow (C_p), también fue un criterio de elección. Estos procedimientos también se llevaron a cabo con el programa NCSS,1997 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville Utah).

Los valores de grasa corporal de los 155 hombres y mujeres se estimaron con tres sistemas de ecuaciones en base al modelo de dos compartimentos: 1. La estimación de la densidad corporal con el logaritmo de la suma de las cuatro pániculos adiposos (Durnin y Womersley, 1974) y a partir de ésta se derivó la grasa corporal con el modelo propuesto por Siri (1961). 2. Con la ecuación de BIE del equipo RJL, empleando variables antropométricas, edad, género, resistencia y reactancia, de acuerdo las recomendaciones del fabricante. 3. A partir de la masa corporal libre de grasa que se estimó con la ecuación desarrollada, en donde las variables que se exploraron para la selección del modelo final fueron: peso, talla, talla sentado, anchura de codo, $talla(m)^2/R$, $talla\ sentado(m)^2/R$, género y la reactancia (X_c).

Reproducibilidad del Método de Referencia.

Se evaluaron 91 sujetos en dos ocasiones durante el mismo día para conocer la reproducibilidad de los valores de densidad corporal medidos con el método de referencia. Para realizar este análisis se compararon los valores de densidad corporal que se obtuvieron con el BOD POD.

Análisis de Concordancia.

Se examinó la concordancia entre los métodos mediante la prueba de Bland Altman [1986]. Dicha prueba considera que el promedio obtenido para un indicador por los métodos que se comparan es la mejor estimación del valor real de una medición. El promedio de las diferencias entre los métodos permite establecer el sesgo entre las dos mediciones. En el presente estudio se comparó el porcentaje de grasa corporal medido con BOD POD y los valores que se estimaron con la ecuación de los panículos adiposos, la ecuación proporcionada por el fabricante y la que se desarrolló en la presente investigación. Para este último caso se empleó el valor de MCLG estimado y después en base al modelo de dos compartimentos se calculó la grasa corporal y el porcentaje de este componente con respecto al peso total.

RESULTADOS

Las características generales del grupo de estudio se muestran en la Tabla 1. No hubo diferencia significativa en la edad y el IMC de hombres y mujeres. Sin embargo, el peso y la talla de las mujeres fueron menores que en los hombres ($p < 0.001$). La circunferencia de cintura y las relaciones cintura/ cadera y subescapular / tricipital fueron mayores en los hombres que en las mujeres ($p < 0.001$). Por el contrario la suma de los panículos adiposos tricipital, bicipital, subescapular y supraillaco fue mayor en las mujeres que en los hombres ($P < 0.001$).

La Tabla 2 muestra la relación entre al tamaño y la composición corporal medida con el BOD POD en los hombres y mujeres de este estudio en contraste con datos de otras poblaciones. El porcentaje de grasa corporal en los valores bajos de IMC (20) fue más alto en los hombres mexicanos que en los otros grupos étnicos. Sin embargo, en el nivel alto de IMC (30) el porcentaje de grasa corporal fue mayor. En las mujeres mexicanas los porcentajes de grasa en los IMC de 20 y 25 fueron mayores que en las polinesias pero similares a los de las caucásicas.

Tabla1. Características generales del grupo de estudio

	Mujeres (n=82)		Hombres (n=73)	
	<u>Promedio ± DE</u>	<u>Rango</u>	<u>Promedio ± DE</u>	<u>Rango</u>
Peso (kg)	65.7 *± 12.9	42.9-99.0	79.0 *± 13.1	51.3-121
Edad (años)	34.3 ± 7.6	22-48	33.9 ± 7.3	21-47
Talla (m)	1.61* ± 0.05	1.45-1.80	1.73 *± 0.05	1.58-1.8
IMC (kg/m ²)	25.4 ± 0.05	18.2-35.5	26.2 ± 3.6	17.8-35.3
Cintura	83.4* ± 12.0	60-116	91.8* ± 10.5	69-120
RCC	0.81* ± 0.08	0.63-1.1	0.90* ± 0.05	0.78-1.1
Codo	6.1± 0.5	5.2-7.3	7.01 ± 0.4	5.9-7.8
Tricipital	20.5* ± 6.2	7.1-36.8	13.7* ± 4.4	4.0-24.3
Biceps	12.6* ± 5.7	4.7-27.3	7.4* ± 3.6	2.6-22.9
Subescapular	18.0* ± 6.22	7.7-37.3	16.6* ± 5.1	7.0-37.7
Supraillaco	16.3* ± 6.4	6.5-30.3	13.6 *± 5.8	4.7-37.5
Σ (4 pliegues)	67.5* ± 21.3	31.7-113	51.2* ± 15.6	19.9-98.5
Subescapular/triceps	0.88* ± 0.22	0.48-1.75	1.27 *± 0.04	0.57-2.19
R	607* ± 81.3	453-872	490* ± 50.2	410-682
Xc	59*± 10.7	40-104	56 *± 5.7	47-73

Tabla 2. Puntos de corte de IMC y porcentaje de grasa corporal de los hombres y mujeres de este estudio y diferentes grupos étnicos.

IMC [kg/(m ²)]	Grasa corporal (%)			Grasa corporal (%)		
	Hombres			Mujeres		
	Mexicanos** <i>Este estudio</i>	Polinesios*	Caucásicos*	Mexicanas** <i>Este estudio</i>	Polinesias*	Caucásicas*
20	16.1	4.9	7.1	28.9	15.9	25.9
25	24.3	13.7	21.4	35.8	23.7	32.5
30	22.5	35.7	31.6	31.6	39.2	42.8

(*) : diferencias estadísticamente significativas $p < 0.05$. RCC: Relación cintura cadera; R: resistencia; XC: reactancia.

*Swinburn, 1994. ** Resultados de esta investigación.

Con respecto al desarrollo de ecuaciones la selección del modelo para predecir la composición corporal se realizó con los sistemas de: todas las regresiones posibles, selección múltiple por pasos en sus modalidades hacia delante y la combinación hacia delante y reversa. Los tres métodos seleccionaron las mismas variables: talla(m²)/R, edad, sexo, peso, talla y reactancia (Xc). Al llevar a cabo el modelo por regresión múltiple y el diagnóstico de la regresión, la variable talla mostró multicolinealidad. Al eliminarla los valores del diagnóstico del modelo quedaron dentro de los rangos aceptables.

Los valores del diagnóstico de colinearidad del modelo restrictivo que finalmente se eligió fueron: número de condicionamiento (CN) de 30.06, en comparación con el corte $CN < 30$; inflación de la varianza (VIF) de 7.39 en contraste con el valor de corte $VIF < 10$ y valor de Eigen (Eigenvalue) de 0.08, con respecto al corte que es cercano a cero. Además se analizaron otros parámetros como el error estándar del estimador y la R^2 que fueron de 2.3 kg de MCLG y 0.95, respectivamente. Este modelo mostró una F de 610.07 ($p < 0.000$). En la Tabla 3 se muestran el diagnóstico de colinearidad y los valores de R^2 , el error estándar del

estimador , el valor de F y de Cp de modelo que se seleccionó y otros modelos restrictivos que también se evaluaron.

Tabla 3. Análisis de regresión para el desarrollo de la ecuación.

Modelo	No. de variables	Variables usadas	Coefficientes estimados	F parcial	F total	R ²	MSE	Cp
1	1	(talla) ² / R	0.85	1463.3	1463.3	0.91	3.27	2.0
2	1	sexo	16.54	241.22	241.22	0.61	6.62	2.0
3	1	peso	0.59	334.22	334.22	0.68	5.95	2.0
4	1	Xc	-0.30	10.44	10.44	0.063	10.28	2.0
5	1	Edad	0.06	0.284	0.284	0.0019	10.61	2.0
6	2	(talla) ² / R	0.797		747.72	0.91	3.24	3.0
		sexo	1.690					
7	3	(talla) ² / R	0.488		772.48	0.94	2.64	4.0
		sexo	4.465					
		peso	0.223					
8	4	(talla) ² / R	0.543		619.04	0.94	2.56	5.0
		sexo	3.779					
		peso	0.214					
		Xc	0.085					
9	5	(talla) ² / R	0.556		610.07	0.95	2.32	6.0
		sexo	3.235					
		peso	0.227					
		Xc	0.055					
		edad	-0.156					

Peso en kg, la talla en m² , sexo = 0 para las mujeres, sexo =1 para los hombres, R y Xc en Ω y Ω⁻¹ respectivamente y edad en años.

La ecuación desarrollada se presenta a continuación:

$$\text{MCLG} = (3.093) \text{ sexo} + (0.571) \text{ talla}^2 / R + (0.218) \text{ peso} - (0.145) \text{ edad} + (0.054) X_c + 4.087$$

$$R^2 = 0.95, \text{ EE}_{\text{estimador}} = 2.3$$

Peso en kg, la talla en m², sexo = 0 para las mujeres, sexo = 1 para los hombres, R y X_c en Ω y Ω¹ respectivamente y edad en años. MCLG: Masa corporal libre de grasa en kilogramos.

La Tabla 4 muestra los valores de la R² y el error estándar del estimador de la ecuación generada que se contrasta con ecuaciones similares (Baumgartner, 1991; Deurenberg, 1991; Lukaski, 1996) que se han reportado en la literatura.

Tabla 4. Comparación de la fórmula de BIE generada para hombres y mujeres con ecuaciones similares que se han reportado en la literatura.

Estudio	Método de Referencia	n	Edad	Ecuación (MCLG)	R ²	E _{Estimador}
Esta investigación	Dc	73 H 82 M	20-50	0.556*(T ² /R)+ 3.235*(S)+ 0.227*(P) -0.156*(E)+0.055*(X _c)+ 4.36	0.95	2.3
Baumgartner, 1991	4C	35 H 63 M	65-94	0.28*(T ² /R) +0.27*(P)+4.5*(S) -0.3*(X _c)+7.0	0.91	2.47
Deurenberg, 1991	Dc	661	16-83	0.34*(T ² /R)-0.127*(E)+0.273*(P) + 4.56*(S)+15.34*(T)-12.44	0.93	2.63
Lukaski, 1986	Dc	84 H 67 M	18-50	0.756*(T ² /R)+0.11*(P)+0.107*(X _c) -5.463	0.96	3.06
Segal, 1988	Dc	1069 H	17-62	0.011*(T ²)-0.44*(R)+0.305*(P) -0.168*(E)+22.668	0.89	3.61
Segal, 1988	Dc	498 M	17-62	0.0011*(T ²)+0.021*(R)+0.232*(P) - 0.068*(E)+14.595	0.89	2.43
Fabricante (RJL)	Información no disponible					

Los valores del porcentaje de grasa corporal que se estimaron con la ecuación que se generó y los medidos con BOD POD no fueron diferentes. La Tabla 5 presenta los valores de composición corporal que se estimaron con los cálculos del fabricante y la ecuación de los panículos adiposos.

Tabla 5. Valores de porcentaje de grasa corporal y de masa corporal libre de grasa por los diferentes métodos (Media \pm DE) .

	Hombres (n=73) ^a		Mujeres (n= 82) ^a	
	Grasa corporal (%)	MCLG (kg)	Grasa corporal (%)	MCLG (kg)
Pletismografía ^b	25.9 \pm 6.9	57.9 \pm 7.1	36.2 \pm 6.5	41.4 \pm 6.2
Panículos adiposos ^c	21.4* \pm 4.6	61.7 \pm 8.6	31.9* \pm 4.9	43.9 \pm 6.5
BIE (Fabricante) ^d	22.8* \pm 5.5	60.4 \pm 7.2	32.1* \pm 7.0	43.8 \pm 5.8
BIE (Ecuación nueva) ^e	25.8 \pm 5.9	57.9 \pm 6.49	36.1 \pm 6.1	41.4 \pm 5.9

a: Medias con asteriscos son diferentes del método de referencia ($p < 0.001$).

b: Método de referencia de este estudio: pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD).

c: Calculado a partir de los panículos adiposos (Durnin y Womersley, 1974).

d: Calculado a partir de la fórmula del equipo (RJL Systems Computerized Bioelectrical Analyzer System Biac-103B).

e: Derivados de la ecuación que se diseñó para esta investigación.

El estudio de reproducibilidad realizado en 91 sujetos mostró que el promedio de las densidades corporales fue de 1.0292 ± 0.019 y 1.0296 ± 0.019 en la primera y segunda medición, respectivamente. Ambos grupos de mediciones mostraron un coeficiente de variación de 1.89%.

Las Figuras 1d, 1e y 1f presentan los gráficos de Bland y Altman para el análisis de sesgo o discrepancia de los tres métodos (pliegues, ecuaciones de BIE del fabricante y la diseñada para el grupo de estudio). Así mismo se muestran las respectivas regresiones de los métodos alternativos con respecto al de referencia, en contraste con la línea de identidad para el análisis de exactitud (Figuras 1a, 1b y 1c).

El análisis de regresión mostró que la intersección entre el método de referencia y los valores de porcentaje de grasa corporal con la ecuación de los panículos adiposos ($p < 0.001$) y la ecuación del fabricante ($p < 0.005$) fue diferente de cero. La ecuación específica para el grupo de estudio tuvo un intercepto de 0.77 que no fue estadísticamente diferente de cero ($p = 0.47$) y con una pendiente de 0.978, prácticamente pasa por la línea de identidad.

El análisis de la R^2 se presenta en la Tabla 6. La ecuación desarrollada para el grupo de estudio explicó el 85% de la variación del porcentaje de grasa corporal comparado con el 80% en el caso de la estimación del fabricante del equipo de BIE. Así mismo el error estándar mejoró de 3.7 a 3.27% de grasa corporal. La estimación de la grasa con los panículos adiposos fue la que tuvo la menor R^2 y el error estándar más alto (Tabla 5).

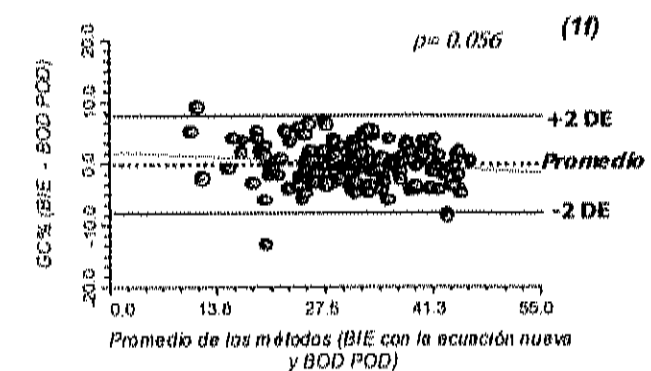
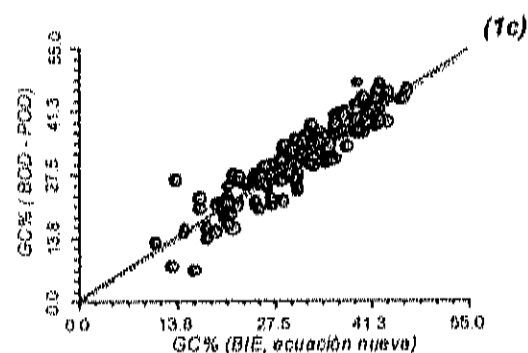
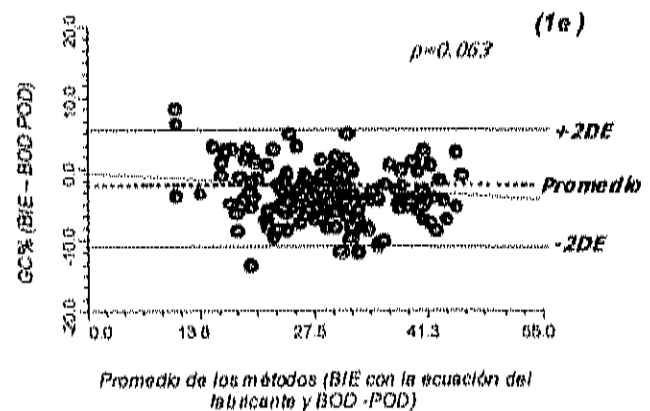
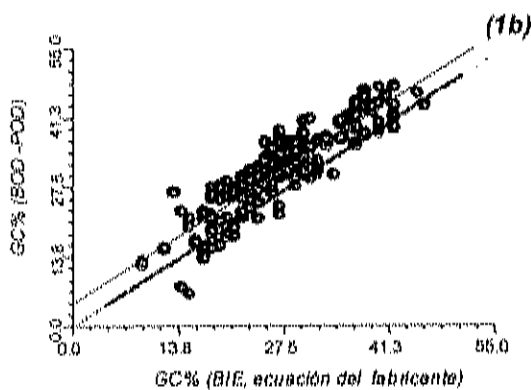
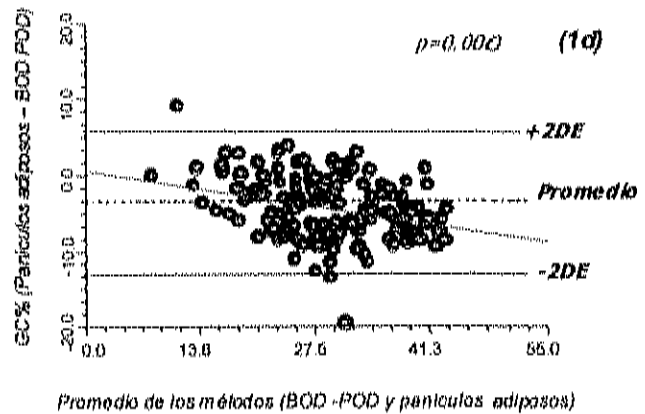
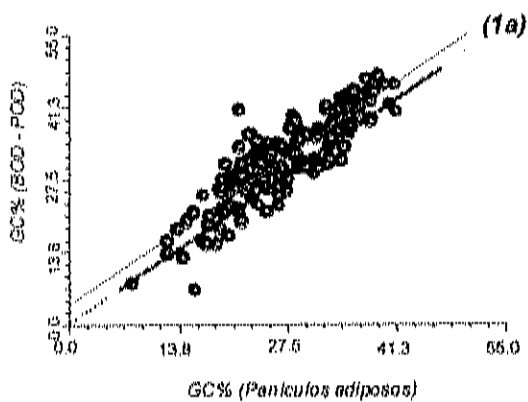
El método de Bland y Altman mostró que la ecuación con los panículos adiposos tuvo sesgo, este comportamiento fue estadísticamente significativo ($r = -0.31$ $p < 0.001$; Figura 1d). Los valores que se estimaron con la fórmula del fabricante ($r = -0.15$; $p = 0.063$; figura 1e) y el porcentaje de grasa corporal con la BIE derivada de la ecuación desarrollada no mostraron sesgo significativo ($r = -0.15$; $p = 0.06$; figura 1f).

Tabla 6. Regresión de la grasa corporal (%) con BOD POD y las técnicas independientes (n=155).

Técnica independiente	R^2	Intercepto	Pendiente	EE _{estimador}
Panículos adiposos	0.76	3.68*	1.02	4.07
BIE (Ecuación del fabricante)	0.80	4.75*	0.96	3.70
BIE (Ecuación nueva)	0.85	0.77	0.93	3.27

*Intercepto significativamente diferente de cero o pendiente significativamente diferente de uno.

BIE = bioimpedancia eléctrica. EE_{Estimador}: error estándar del estimador.



Figuras 1a, 1b y 1c: Comparación entre el porcentaje de grasa corporal medido con BOD-POD y los métodos alternativos; a) ecuación de los pliegues cutáneos. b) BIE (fabricante). c) BIE (ecuación desarrollada). La línea puntada representa la identidad.
 Figuras 1d, 1e y 1f: Gráficos de las diferencias en el porcentaje de grasa corporal (%) obtenida con BOD-POD y la que se estimó con los métodos alternativos. d) ecuación de los pliegues cutáneos, e) BIE (fabricante). f) BIE (ecuación desarrollada).

DISCUSIÓN

A pesar de que no hubo diferencias en el tamaño corporal (IMC) entre las mujeres y los hombres de este estudio, la relación cintura cadera fue mayor en el grupo de los hombres que en el de las mujeres, esto indica que tienen mayor adiposidad central. La proporción entre los panículos adiposos tricipital y subescapular también llamado índice de centralidad de grasa concuerda con este hallazgo. De acuerdo a diversos autores los hombres tienen mayor adiposidad central y por lo tanto mayor riesgo de enfermedades crónico degenerativas [Baumgartner, 1987; Dongsheng, 2000; Dowling, 1993].

No todos los estudios confirman la existencia de una relación positiva entre el IMC y el porcentaje de grasa corporal (Deurenberg, 1991). Si tal relación existiera, podría afectar la exactitud de métodos como la BIE y las inferencias que se realicen en torno al riesgo de mortalidad que se asocia al IMC.

La comparación entre los valores de IMC y grasa corporal de caucásicos y polinesios [Swinburn, 1994] con los valores del grupo de estudio, confirma la existencia de diferencias étnicas y ambientales en el tamaño corporal (Norgan, 1994). Los hombres de esta investigación tuvieron valores de porcentaje de grasa corporal mayores que los polinesios y caucásicos en el punto de corte de IMC de 20. Esta misma tendencia se observó entre mexicanos y polinesios en un IMC de 25, a diferencia de los hombres europeos que tuvieron un porcentaje de grasa similar a los de los hombres mexicanos. En el punto de corte de IMC de 30 los europeos y polinesios presentaron porcentajes de grasa corporal mayores que los de los mexicanos. Las mujeres mostraron valores similares de grasa corporal a los de las caucásicas en IMC de 20 y 25, en contraste con las polinesias que mostraron menos grasa. Al igual que los hombres las mujeres de esta investigación tuvieron menos grasa para el IMC de 30, que los otros dos grupos. Aunque esta tendencia fue más marcada en las mujeres también se presenta en los hombres. A pesar de que en los

sujetos mexicanos no se observó consistencia en el aumento de la grasa corporal a medida que se incrementaba el IMC, hay que considerar que el tamaño de esta muestra es muy pequeño. Mientras que los estudios con los polinesios y europeos tienen tamaños de muestra de 600 [Swinburn, 1994].

Al explorar las variables que se integraron en el modelo la relación entre la talla y la resistencia fue el mejor predictor de la MCLG, al agregar las variables sexo, peso y X_c , la R^2 aumentó de 0.91 a 0.94 y mostró un error estándar de 2.64. El procedimiento de todas las regresiones posibles y la selección múltiple por pasos hacia atrás y hacia delante también seleccionaron la X_c y la edad. Al agregar estas variables al modelo la R^2 aumentó a 0.95 y el error estándar disminuyó hasta 2.32, además la F tuvo un valor estadísticamente significativo. Además los indicadores de colinearidad se mantuvieron en rangos adecuados.

Las variables que se emplearon para diseñar el modelo coincidieron con las que se reportan en la literatura como los mejores predictores de la MCLG [Guo, 1996; Baumgartner, 1991; Deurenberg, 1991; Lukaski, 1986; Seagal, 1988; Seagal, 1988]. La ecuación que se generó para el grupo de estudio tiene valores de R^2 , edad, género y error estándar del estimador dentro del rango que tuvieron otras ecuaciones que se diseñaron con tamaños de muestra similares o mayores. Las ecuaciones que se han reportado con anterioridad muestran valores de coeficientes de regresión que también son similares. Sin embargo, cada ecuación representa las características físicas y de composición corporal de la población en la que se diseñaron. Con la ecuación nueva los resultados muestran mejoramiento de la estimación de la composición corporal en comparación con los cálculos del fabricante y las ecuaciones que emplean pliegues.

El modelo de la R^2 mostró que la ecuación generada para el grupo de estudio fue precisa. El porcentaje de variación que explica el modelo nuevo aumentó 15% y 19% con respecto a los cálculos del fabricante y la ecuación de los pliegues, respectivamente. Estos hallazgos se confirman en estudios similares, como el que realizaron Rising et al . [1991], en el que el diseño de una ecuación de BIE específica

para el grupo que evaluaron mejoró la correlación y el error estándar del estimador. Sin embargo, no todos los estudios que comparan la predicción de la composición corporal con BIE han encontrado diferencias significativas al emplear ecuaciones que se han diseñado y validado en otros grupos [Heitmann , 1997; Stolarczyk, 1997]

Por otra parte el error estándar del estimador fue menor para los valores que se estimaron con la ecuación nueva, aunque dicha disminución no fue pronunciada en comparación con los cálculos del fabricante. Las diferencias entre estas dos ecuaciones y la que usa los plicúlos fueron significativas. Este hallazgo concuerda con el de otros autores que han encontrado errores estándar mayores y coeficientes de correlación menores entre las ecuaciones que emplean variables antropométricas y métodos como la hidrodensitometría [Lukaski, 1986].

Las gráficas de regresión de cada método con respecto al de referencia permiten apreciar que el valor estimado del porcentaje de grasa corporal con la ecuación de los plicúlos adiposos y la ecuación del fabricante para BIE son inexactas. Las pendientes fueron similares, pero las intersecciones fueron distintas de cero. Por el contrario, al analizar la relación entre la ecuación desarrollada y el método de referencia se encontró que la intersección no fue diferente de cero y la pendiente fue igual a uno. Lo que significa que la ecuación específica para este tipo de población fue exacta con respecto al método de referencia.

Las discrepancias entre la ecuación del fabricante y el método de referencia pueden deberse a diferencias en la longitud de las extremidades y el peso corporal entre el grupo de estudio y el que se empleó para diseñar y validar la ecuación. Esto es factible ya que ambas variables se relacionan directamente con la resistencia [Baumgartner, 1989]. De hecho una de las justificaciones para generar ecuaciones específicas para los diferentes grupos étnicos, es que ambos factores están fuertemente influenciados por factores étnicos y ambientales [Heitmann, 1997].

El análisis de Bland y Altman, mostró que la diferencia entre la grasa corporal que se estimó con la ecuación desarrollada y el método de referencia no tuvo una relación de dependencia funcional con la cantidad de grasa corporal. Esto indicó que

la predicción por BIE que se basa en el BOD POD, es independiente de otras covariables. Aunque la ecuación del fabricante presentó características similares y tampoco mostró sesgo significativo, la precisión y exactitud fueron mejores para la ecuación generada. Por otra parte, es probable que el sesgo de la ecuación con los pániculos adiposos se relacione a la magnitud de grasa corporal. Por lo que las estimaciones no se consideraron fiables. Además posiblemente la predicción de la grasa corporal con esta ecuación se ve afectada por otras variables.

La ecuación que se generó deber ser validada con la metodología que se recomienda para el caso [Guo S, 1996]. Esto puede ser mediante una muestra independiente similar a la población de donde se derivó la ecuación, utilizando la misma metodología para obtener los valores de las variables independientes y la dependiente. Este procedimiento es el mejor en cuanto a validación de ecuaciones se refiere. Otra opción podría ser una validación cruzada en la que la muestra se divide en dos partes iguales después de la aleatorización de los elementos. Una tercera opción es el procedimiento denominado "Jackknife" que consiste en dividir la muestra aleatoriamente en K grupos iguales. Se desarrolla la ecuación k veces, en cada ocasión se resta del total uno de los grupos y se lleva a cabo el modelo de regresión. Este procedimiento se recomienda para muestras que no son muy grandes [Baumgartner, 1991].

La aplicación de ecuaciones, que se deriven de un método de referencia que se acepta internacionalmente, como la que se desarrolló en el presente estudio en poblaciones similares permitirá obtener información más exacta y precisa. Esto se logrará de manera práctica y fácil en condiciones de campo y de laboratorio, midiendo la R, la Xc, el peso, la talla y registrando la edad y el género de los sujetos. En última instancia su utilización hará posible generar información epidemiológica sobre la composición corporal, lo que finalmente será de utilidad para mejorar la evaluación del riesgo de padecer las patologías que se asocian a la desnutrición y la obesidad.

BIBLIOGRAFIA

- Biaggi R, Vollman M, Nies M, Flakoll P, Levenhagen D, Sun M, Karabulut Z, Chen K. Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 898-903.
- Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am J Clin Nutr* 1989; 50: 221-26.
- Baumgartner RN. Electrical impedance and total body electrical conductivity. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human Body composition, Human kinetics, USA, 1996: 79-107.*
- Baumgartner RN, Roche A, Cumlea C, Siervogel R, Glueck CJ. Fatness and fat patterns: associations with plasma lipids and blood pressures in adults, 18 to 57 years of age. *Am J Epidemiol* 1987; 126(4):614-28.
- Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman S. Body composition in elderly people: Effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 1345-53.
- Couillard C, Lemieux S, Moorjani S, Lupien PJ, Thériault G, Prud'homme D, Tremblay A, Bouchard C, Deprés JP. Associations between 12 year changes in body fatness and lipoprotein-lipid levels in men and women of the Quebec Family study. *Int J Obes* 1996; 20: 1091-88.
- Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:1692-97.
- Deurenberg P, Deurenberg YM, Wang J, Lin FP, Schmidt G. The impact of body build on the relationship between body mass index and percent body fat. *Int J Obes* 1999;23:537-42.

- Deurenberg P, Deurenberg YM, van Staveren WA. Body mass index and percent body fat: a meta analysis among different ethnic groups. *Int J Obes* 1998; 22: 1164-71.
- Deurenberg P, Weststrate JA, Seideli JC. Body mass index as measure of body fatness: age and sex specific prediction. *Br J Nutr* 1991; 65: 105-14.
- Deurenberg P, van der Kooy K, Leenen R. Sex and age specific prediction formula for estimating body composition from bioelectrical impedance: a cross-validation study. *Int J Obes* 1991; 15: 17-25.
- Dewit O, Fuller NJ, Fewtrell M, Elia M, Well J. Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis. *Arch Dis Child* 2000; 82:159-64.
- Dongsheng H, Hannah J, Gray S, Jablonski KA, Henderson JA, Robbins DC, Lee ET, Welty TK, Howard BV. Effects of obesity and body fat distribution on lipids and lipoproteins in non-diabetic American Indians: The strong heart study. *Obes Res* 2000; 8(6): 411-21.
- Dowling AJ, Pi-Sunyer FX. Race dependent health risks of upper body obesity. *Diabetes* 1993; 42: 537-43.
- Durnin J. V. G. A, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72. *Br J Nutr* 1974; 32: 77-97.
- Fehily AM, Butland BK, Yarnell JWG. Body fatness and frame size: The Caerphilly study. *Eur J Clin Nutr* 1990; 44: 107-1.
- Frisancho AR. New standards of weight and body composition by frame size and height for assessment of nutritional status of adults and the elderly. *Am J Clin Nutr* 1984; 40: 808-19.
- Fuller NJ, Elia M. Potential use of bioelectrical impedance of whole body and of body segments for the assessment of body composition: comparison with densitometry and anthropometry. *Eur J Clin Nutr* 1989; 43: 779-91.

- Guo S, Chumlea C, Cockram. Use of statistical methods to estimate body composition. *Am j Clin Nutr* 1996; 64(suppl1): 428-35.
- Guo S and Chumlea C. Statistical methods for the development and testing of predictive equations. In: Roche A, Heymsfield S, Lohman T, eds. *Human body composition*. USA, Human Kinetics, 1996: 191-102.
- JajiKic JM, Wing RR, Lang W. Bioelectrical impedance analysis to assess body composition in obese adult women: The effect of ethnicity. *Int J Obes* 1998; 22: 243-49.
- Kleinbaum D, Kupper L, Muller K. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*. 3rd edition. Brooks/Cole Publishing Company, USA, 1998. 798 pp.
- Lavenhaguen DK, Borel MJ, Welch DC, Piasecki JH, Piasecki DP, Chen kY, Flakoff PJ. A comparison of air displacement plethysmography with three other techniques to determine body fat in healthy adults. *J Paren Enter Nutr* 1999; 23(5): 293-99.
- Lohman TG, Caballero G, Himes JH, Davis CE, Stewart D, Houtkooper L, Going SB, Hunsberger S, Weber JL, Reid R, Stephenson L. Estimation of body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in Native American children. *Int J Obes* 2000; 24: 982-88.
- Lukaski HC, Bolonchuk W, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance methods to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60(4): 1327-32.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60: 1327-32.
- McCroy M, Gomez T, Bernauer E, Molé P. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(12): 1686-91.

- McCrorry MA, Molé PA, Gomez TD, Dewey KG, Bernauer EM. Body composition by air displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes. *J Appl Physiol* 1998; 84(4): 1475-79.
- Norgan NG. Population differences in body composition in relation to the body mass index. *Eur J Clin Nutr* 1994; 48(suppl3): 10-7.
- Okosun IS, Tedders SH, Dever GEA. Abdominal adiposity values associated with established body mass indexes in white, black and Hispanic Americans. A study from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. In *J Obes* 2000; 24: 1279-85.
- Rising R, Swinburn B, Larson K, Ravussin E. Body composition in Pima Indians: validation of bioelectrical resistance. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 594-8.
- Rush EC, Plank LD, Laulu MS, Robinson S. Prediction of percentage of body fat from anthropometric measurements: comparison of New Zealand European and Polynesian young women. *Am J Clin Nutr* 1997; 66: 2-7.
- Sardina L, Lohman T, Teixeira P, Guedes D, Going S. Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy X-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men. *Am J Clin Nutr* 1998; 68: 786-93.
- Segal KR, Van Losn MD, Fitzgerald PI. Lrna body mass estimated by bioelectrical impedance analysis: a four site cross validation study. *Am J Clin Nutr* 1988;47:7-14.
- Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, eds. *Techniques for measuring body composition* . National Academy of Science. Washington, DC: National Research Council, 1961: 223-44.
- Siervogel RM, Wisemandle W, Maynard M, Guo S, Roche A. Serial changes in body composition throughout adulthood and their relationships to changes in lipid and lipoprotein levels. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1998; 18:1759-64.

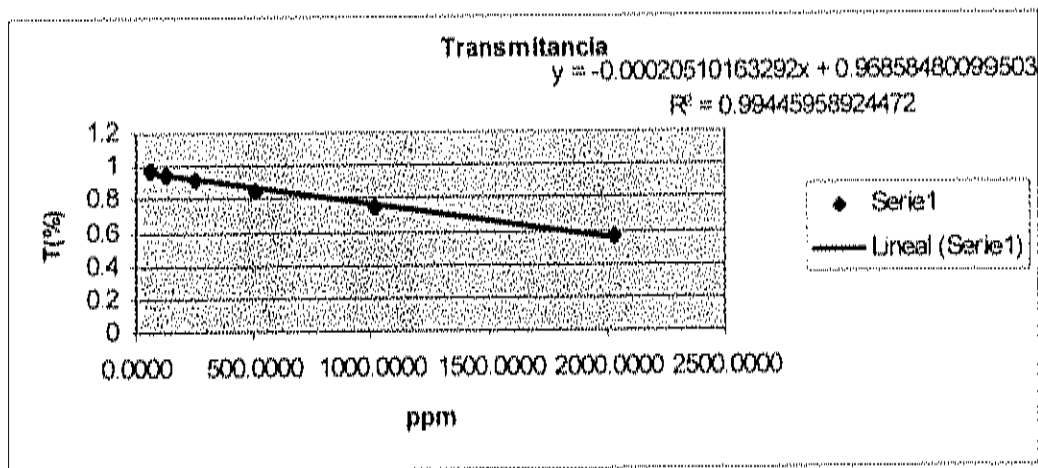
- Spiegelman Donna, Isarael RG, Bouchard C, Willen WC. Absolute fat mas, percent body fat and body fat distribution: wich is the real determinant of blood pressure and serum glucose. *Am J Clin Nutr* 1992; 55: 1033-44.
- Secretaria de Salud y Asistencia. Encuesta Nacional de Enfermedades crónico degenerativas, 1993. Secretaría de Salud y Asistencia.
- Swinburn B, Craig P, Strauss B, Daniel R. Body mass index: is it an appropriate measure of obesity in Polynesians?. In: The thrifty genotype concepts and evidence after 30 years. Symposium: Australian Clinical Nutrition Society. School of medicine, University of Auckland. December 8, 1994. Auckland, New Zealand.
- Swinburn BA, Ley SJ, Carmichael HE, Plank LD. Body size and composition in Polynesians. *Int J Obes* 1999; 23: 1178-83.

APÉNDICE A

Curva de estándares

ppm	%T
31.7579	0.99268
63.5158	0.97399
127.0317	0.95113
254.0634	0.91840667
508.1268	0.85603
1016.2535	0.74979333
2032.507	0.57559667

Ecuación de la recta (Estimación de la concentración de D₂O)



Concentración de D₂O (Ecuación de la recta que se obtuvo con la curva estándar) :

$$pm = 1203.945313$$

Cálculo de agua corporal total:

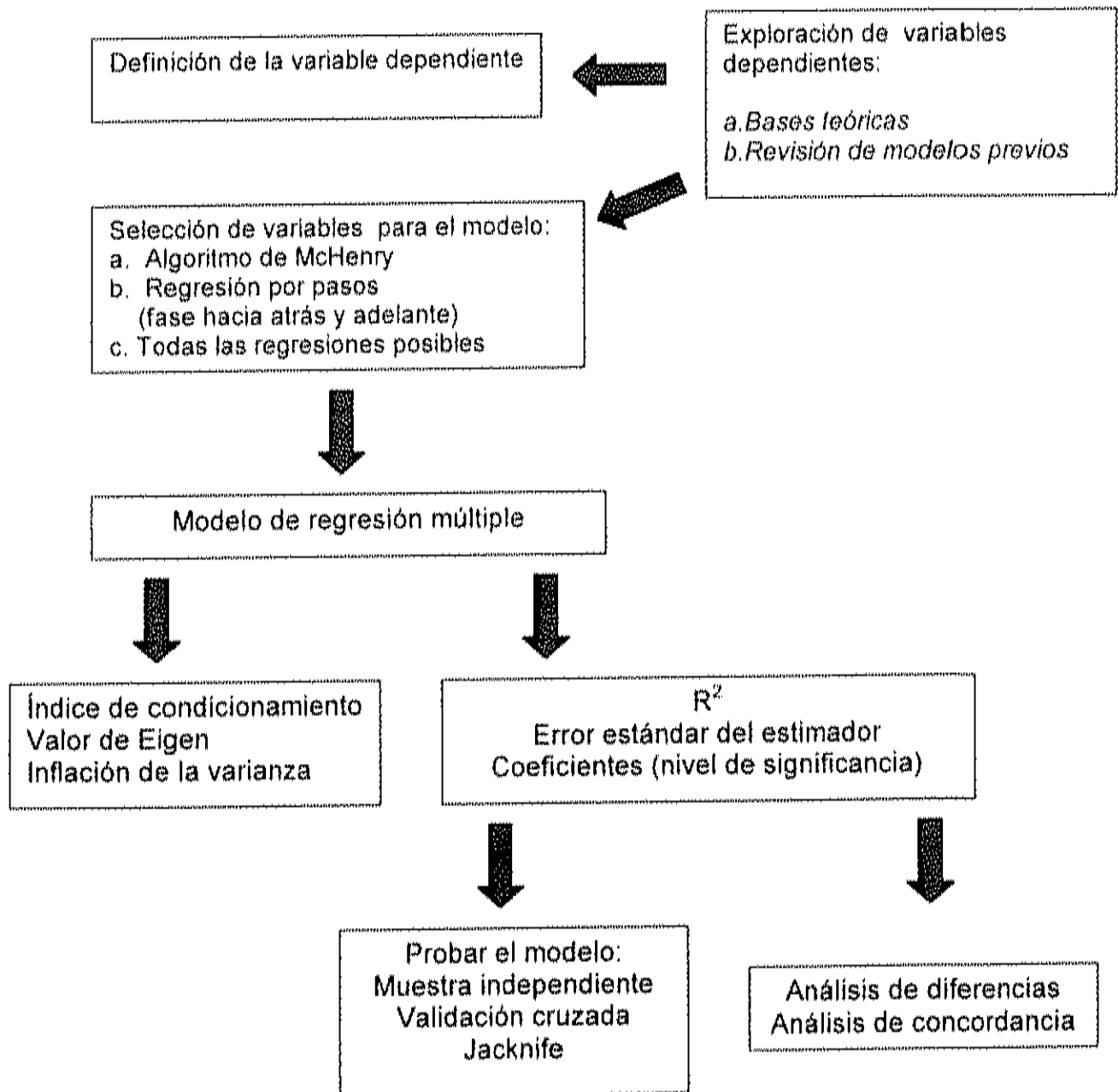
$$ACT = ([\text{Dosis administrada (kg)}] * [\text{Pureza de D}_2\text{O (\%)}] * [10^4]) / [\text{Enriquecimiento(ppm)}]$$

$$ACT = ([30.029] * [99.9] * [10^4]) / 1203.945313$$

$$ACT = 24.44 \text{ Kg}$$

$$MCLG = 33.48 \text{ Kg}$$

APÉNDICE B



APÉNDICE C

Composición corporal obtenidos por BIE, D₂O, BOD POD y Antropometría

Datos personales

Fecha del estudio _____

Nombre completo _____

Sexo: Femenino () Masculino ()

Edad: _____

Bioimpedancia eléctrica

Resistencia _____ Reactancia _____

Antropometría

Peso (kg) _____ Talla (cm) _____

Circunferencia media del brazo _____ IMC (kg/cm²) _____

Cir. De cintura _____

Cir. De cadera _____

Relación cintura/cadera _____

Ancho de codo _____

Plicometría

Pliegue cutáneo tricípital _____

Pliegue cutáneo bicipital _____

Pliegue cutáneo subescapular _____

Pliegue cutáneo suprailiaco _____

Dilución de Deuterio:

Dosis

D₂O: _____ (ml)

H₂O _____ (ml)

Hermosillo

Basal _____ Basal _____

(3hrs) _____ (3hrs) _____

(4hrs) _____ (4hrs) _____

México

Líquido post-dosis _____ (ml)

Líquido ingerido antes _____ (ml)

Líquido entre post-dosis y basal _____ (ml)

Orina entre basal y post-dosis _____ (ml)

Observaciones _____

APÉNDICE D

FORMA DE BOD POD

Nombre _____
 Edad (años) _____
 Talla (cm) _____
 Medidor _____

Apellidos _____
 Sexo _____

	1ª evaluación		2ª evaluación		3ª evaluación	
	VPP*	VPM**	VPP*	VPM**	VPP*	VPM**
Grasa (%)						
Peso (kg)						
Grasa (kg)						
Tejido magro (kg)						
Volumen Pulmonar (L)						

* VPP: valores de composición corporal calculados con la predicción del volumen pulmonar. ** VPM: valores de composición corporal calculados con la medición del volumen pulmonar.

Observaciones

APÉNDICE E

Composición corporal con BIE, antropometría y BOD POD.

Fecha del estudio _____

A. Datos personales

Nombre completo _____

Sexo: Femenino () Masculino ()

Edad: _____

B. Bioimpedancia eléctrica

Resistencia _____ **Reactancia** _____

C. Antropometría

Peso (kg) _____ **Talla (cm)** _____

Circunferencia media del brazo _____ **IMC (kg/cm²)** _____

Cir. De cintura _____

Cir. De cadera _____

Relación cintura/cadera _____

Ancho de codo _____

Talla sentado _____

Plicometría

Pliegue cutáneo tricipital _____

Pliegue cutáneo bicipital _____

Pliegue cutáneo subescapular _____

Pliegue cutáneo suprailíaco _____

Observaciones

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Bachrach LK, Hastie T, Wang MC, Nariasingh B, Marcus R. Bone mineral acquisition in healthy Asian, Hispanic, Black and Caucasian Youth. *J Clin Endocrinol Metab* 1999; 84 (12): 4702-12.
- Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman S. Body composition in elderly people: Effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 1345-49.
- Biaggi R, Vollman M, Nies M, Flakoll P, Levenhagen D, Sun M, Karabulut Z, Chen K. Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 898-903.
- Blanchard J, Conrad KA, Harrison GG. Comparison of methods for estimating body composition in young and elderly women. *Journal of Gerontology* 1990; 45(4): B119-124.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between methods of clinical measurement. *The Lancet*, February 8, 1986; 307-10.
- Bracco D, Thiebaud D, Chiolerio RL, Landry M, Burckhardt P, Schutz Y. Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans. *J Appl Physiol* 1998; 84(1): 396-7
- Bray G. Measurements of Body composition: an improving art. *Obesity research* 1995; 3 (3): 291-93.
- Bergsma-Kadijk J, Aumeister B, Deurenberg P. Measurements of body fat in young and elderly women: comparison between a four-compartment model and widely used reference methods. *Br J Nutr* 1996; 75: 649-57.
- Calderón de la Barca AM, Bolaños AV, Caire Juvera G, Román Pérez R, Valencia ME, Casanueva E, Coward WA. Evaluación del consumo de leche humana por dilución con deuterio y detección por espectroscopía de infrarrojo. *Per Rep Hum* 1998; 12:142-150.

- Clasey JL, Kanaley JA, Wideman L, Heymsfield S.B, Teates C.D, Gutgesell M.E, Thorner M.O, Hartman M.L, Weltman A. Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women. *J Appl Physiol* 1999; 68 (5): 1728-38.
- Couillard C, Lemieux S, Moorjani S, Lupien PJ, Thériault G, Prud'homme D, Tremblay A, Bouchard C, Deprés JP. Associations between 12 year changes in body fatness and lipoprotein-lipid levels in men and women of the Quebec Family study. *Int J Obes* 1996; 20: 1091-88.
- Cunningham JJ. Body composition and resting metabolic rate: the myth of feminine metabolism. *Am J Clin Nutr* 1982; 36: 721-6.
- Dempster P, Aitkens. A new air displacement method for the determination of body composition. *Med Sci Sport and Exerc* 1994; 27: 1692-97.
- Deurenberg P, Schutz Y. Body composition: overview of methods and future direction of research. *Ann Nutr Metab* 1995; 39: 325-33.
- Deurenberg P, Yap M, Van Staveren WA. Body mass index and percent body fat: metanalysis among diferente ethnic groups. *Int J Obes* 1998; 22: 1164-71.
- Deurenberg P, Deurenberg YM, Wang J, Lin FP, Schmidt G. The impact of body build on the relationship between body mass index and percent body fat. *Int J Obes* 1999; 23: 537-42.
- De Waart F, Li R, Deurenberg P. Comparison of body composition assessments by bioelectrical impedance and by anthropometry in premenopausal Chinese women. *Br J Nutr* 1993; 69: 657-64.
- Durnin J. V. G. A, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thikness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72. *Br J Nutr* 1974; 32: 77-97.
- Encuesta Nacional de Enfermedades crónico degenerativas, 1993. Secretaría de Salud y Asistencia.

- Elia M, Ward LC. New techniques in nutritional assessment: body composition methods, 1999; 58(1): 1-8.
- Ellis K, J Abrams SA, Wong WW. Body composition of a young, multiethnic female population. *Am J Clin Nutr* 1997; 65: 724-31.
- Ellis KKJ. Body composition of a young, multiethnic, male population. *Am J Clin Nutr* 1997; 66: 1323-31.
- Fehily AM, Butland BK, Yarnell JWG. Body fatness and frame size: The Caerphilly study. *Eur J Clin Nutr* 1990; 44: 107-1.
- Foster K, Luckaski C. Whole body impedance- what does it measure?. *Am J Clin Nutr* 1996; 64:388-96.
- Frisancho AR. New standars of weight and body composition by frame size and height for assessment of nutritional status of adults and the elderly. *Am J Clin Nutr* 1984; 40: 808-19.
- Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb S, 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: 694-701.)
- Going SB, Densitometry. In: Roche A, Heymsfield SB, Lohman T (eds). *Human Body composition*, Cap 1. Human kinetics ,1996, USA. Pp.3-23.
- Golditz GA, Willet WC, Stamfer MJ, Manson JE, Hennekens CH, Arky RA, Speizer FE. Weight as a risk factor for clinical diabetes in women. *Am J Epidemiol* 1990; 132: 501-13.
- Gundlach BI, Nijkrake, Hautvast. A rapid and simplified plethysmometric method for measuring body volume. *Human Biology* 1980; 5281: 23-33.
- Guo S, Chumlea C, Cockram. Use of statistical methods to estimate body composition. *Am J Clin Nutr* 1996; 64(suppl1): 428-35.
- Haffner SM, Stern MP, Hazuda HP, Rosenthal M, Knapp JA, Malina RM. Role of obesity and fat distribution in non-insulin-dependent diabetes mellitus in Mexican and non- Hispanic whites. *Diabetes Care* 1986; 9(2): 153-61.

- Heitmann, BL. Body fat in the adult Danish population aged 35-65 years: an epidemiological study. *International Journal of Obesity* (1991); 15: 535-45.
- Heymsfield S, Wang Z. Human Body composition: advances y models and methods. *Ann Rev Nutr* 1997; 17: 297-303.
- Heyward VH. Evaluation of Body composition. *Sports medicine* 1996; 22(3) : 147-56.
- Hill G. Body composition research: implications for the practice of clinical nutrition. *J Paren Enter Nutr* 1992; 16: 197-218.
- Houtkooper L, Lohman T, Going S, Howel W. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity?. *Am J Clin Nutr* 1996; 64:436-48.
- Jakicic JM, Wing RR , Lang W. Bioelectrical impedance analysis to assess body composition in obese adult women: The effect of ethnicity. *Int J Obes* 1998; 22: 243-49.
- Jebb, S. From chemical analysis of the body... to metabolic insights provided by the new methodology. *Br J Nutr*, 1997 (78); Suppl 2: S101-112.
- Jordán José R. El crecimiento del niño. Editorial JIMS ^{SA}, Barcelona, 1988. pp.251.
- Kushner RF. Body Weight and Mortality. *Nutr Revs* 1993; 51(5): 127-36.
- Lavenhaguen DK, Borel MJ, Welch DC, Piasecki JH, Piasecki DP, Chen kY, Flakoll PJ. A comparison of air displacement plethysmography with three other techniques to determine body fat in healthy adults. *J Paren Enter Nutr* 1999; 23(5): 293-99.
- Linder, M C. Nutritional biochemistry and metabolism with clinical application. United States of America, Appleton and Lange, 1991.pp.603
- Lohman TG, Caballero G, Himes JH, Davis CE, Stewart D, Houtkooper L, Going SB, Hunsberger S, Weber JL, Reid R, Stephenson L. Estimation of body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in Native American children. *Int J Obes* 2000; 24: 982-88.
- Lukasky HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987; 46:537-56.

- Lukasky HC, Johnson E. A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D₂O and infrared absorption of biological fluids. *Am J Clin Nutr* 1985; 41:363-70.
- Lukasky HC, Johnson PE, Bolonchuck WW, Lykken GI. Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurements of human body. *Am J Clin Nutr* 1985; 41: 810-17.
- Malina RM, Little Bb, Stern MP, Gaskill SP, Hazuda HP. Ethnic and social class differences in selected anthropometric characteristics of Mexican American and Anglo adults: The San Antonio Heart Study. *Hum Biol* 1983; 55: 867-83.
- Manson JE, Golditz GA, Stampfer MJ, Willet WC, Rosner B, Monson R, Speizer FE, Hennekens CH. A prospective study of obesity and risk of coronary Heart disease in women. *N Engl J Med* 1990; 322: 882-9.
- McCroy M, Gomez T, Bernauer E, Molé P. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(12): 1686-91.
- McCroy MA, Molé PA, Gomez TD, Dewey KG, Bernauer EM. Body composition by air displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes. *J Appl Physiol* 1998; 84(4): 1475-79.
- More, FD. Determination of total body water and solids with isotopes. *Science* 1946; 104: 157.
- Norgan NG. Population differences in body composition in relation to the body mass index. *Eur J Clin Nutr* 1994; 48(suppl3): 10-7.
- Okosun IS, Tedders SH, Dever GEA. Abdominal adiposity values associated with established body mass indexes in white, black and Hispanic Americans. A study from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *In J Obes* 2000; 24: 1279-85.
- Rush EC, Plank LD, Lалу MS, Robinson S. Prediction of percentage of body fat from anthropometric measurements: comparison of New Zealand European and Polynesian young women. *Am J Clin Nutr* 1997; 66: 2-7.

- Principales resultados de la estadística sobre mortalidad en México, 1997. Salud Pública de México 1998; 40(6): 517-23.
- Prothro JW, Resenbloom CA. Body measurement of black and white elderly persons with emphasis on body composition. Gerontology 1995; 41: 22-38.
- Pullicino E, Coward AW, Stubbs RJ y Elia M. Bedside and field methods for assessing body composition: Comparison with the deuterium technique. Eur J Clin Nutr 1990; 44: 753-62.
- Reilly JJ, Wilson J, Durnin JVGA. Determination of body composition from skinfold thickness: a validity study. Archives of disease in childhood 1995; 73: 305-31.
- Rising R, Swinburn B, Larson K, Ravussin E. Body composition in Pima Indians: validation of bioelectrical resistance. Am J Clin Nutr 1991; 53: 594-8.
- Roche AF, Guo S, Baumgartner, Chumlea WC, Ryan AS, Kuczmarski RJ. Reference data for weight, stature, and weight/stature² in Mexican Americans from the Hispanic Health and Nutrition Examination Survey (HHANES 1982-1984). Am J Clin Nutr 1990; 51: 917S-24S
- Roche AF, Heymsfield SB, Lohman T. United States of America, Human kinetics, 1996. 365-54. Schoeller DA, van Santen E, Peterson DW, Dietz W, Jaspan J, Klein PD. Total body measurements in humans with ¹⁸O and ²H labeled water. Am J Clin Nutr 1980; 33: 2686-93.
- Secretaría de Salud y Asistencia. Encuesta Nacional de Enfermedades crónicas degenerativas, 1993. Secretaría de Salud y Asistencia.
- Siervogel RM, Wisemandle W, Maynard M, Guo S, Roche A. Serial changes in body composition throughout adulthood and their relationships to changes in lipid and lipoprotein levels. Arterioscler Thromb Vasc Biol 1998; 18:1759-64.
- Siri WE. Body composition from fluid and density: analysis of methods. In: Techniques for measuring body composition, J. Brozek and A. Henschel (Eds). Washington, DC: National Academy of Sciences/National Research council, 1961. pp. 223-234.

- Sjöström LV. Mortality of severely obese subjects. *Am j Clin Nutr* 1992; 55: 516S-23S.
- Slaughter, MH, Lohman TG, Boileau RA. Differences in the subcomponents of fat-free body in relation to height between black and white children. *Am J Hum Biol* 1990; 2: 209-17.
- Spiegelman Donna, Isarael RG, Bouchard C, Willen WC. Absolute fat mass, percent body fat and body fat distribution: Wich is the real determinant of blood pressure and serum glucose?. *Am J Clin Nutr* 1992; 55: 1033-44.
- Stancell MJ, Mojica L. Determination of body water content using trace levels of Deuterium Oxide and Infrared Spectrophotometry. *Clin Chem* 1968; 14(11): 112-24.
- Swinburn BA, Ley SJ, Carmichael HE, Plank LD. Body size and composition in Polynesians. *Int J Obes* 1999; 23: 1178-83.
- Thomas KT, Keller CS, Holbart KE. Ethnic and age trends for body composition in women residing in the U. S. Southwest: I. Regional Fat. *Med Sci Sports Excerc* 1997; 29(1): 82-9.
- Twisk JWR, Kemper HCG, van Mechelen W, Post GB, van Lenthe Fj. Body fatness: Longitudinal relationship of body mass index and the sum of skinfolds with other risk factors for coronary heart disease. *Int J Obes* 1998; 22: 915-22.
- Uauy R, Labala C, Kain J. Obesity trends in Latin America: Transiting from Under- to Overweight. *J Nutr* 2001;131:893-99.
- Wellens R, Roche Alex F, Khamis Hj, Jackson AS, Pollock ML, Siervogel RM. Relationship between the body mass index and body composition. *Obes Res* 1996, 4(1): 35-44.
- World Health Organization. Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3-5 June 1997. World Health Organization, Geneva, 1998.

- Sjöström LV. Mortality of severely obese subjects. *Am j Clin Nutr* 1992; 55: 516S-23S.
- Slaughter, MH, Lohman TG, Boileau RA. Differences in the subcomponents of fat-free body in relation to height between black and white children. *Am J Hum Biol* 1990; 2: 209-17.
- Spiegelman Donna, Isarael RG, Bouchard C, Willen WC. Absolute fat mass, percent body fat and body fat distribution: Wich is the real determinant of blood pressure and serum glucose?. *Am J Clin Nutr* 1992; 55: 1033-44.
- Stancell MJ, Mojica L. Determination of body water content using trace levels of Deuterium Oxide and Infrared Spectrophotometry. *Clin Chem* 1968; 14(11): 112-24.
- Swinburn BA, Ley SJ, Carmichael HE, Plank LD. Body size and composition in Polynesians. *Int J Obes* 1999; 23: 1178-83.
- Thomas KT, Keller CS, Holbart KE. Ethnic and age trends for body composition in women residing in the U. S. Southwest: I. Regional Fat. *Med Sci Sports Excerc* 1997; 29(1): 82-9.
- Twisk JWR, Kemper HCG, van Mechelen W, Post GB, van Lenthe Fj. Body fatness: Longitudinal relationship of body mass index and the sum of skinfolds with other risk factors for coronary heart disease. *Int J Obes* 1998; 22: 915-22.
- Uauy R, Labala C, Kain J. Obesity trends in Latin America: Transiting from Under- to Overweight. *J Nutr* 2001;131:893-99.
- Wellens R, Roche Alex F, Khamis Hj, Jackson AS, Pollock ML, Siervogel RM. Relationship between the body mass index and body composition. *Obes Res* 1996, 4(1): 35-44.
- World Health Organization. Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic. Report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3-5 June 1997. World Health Organization, Geneva, 1998.