

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

Composición corporal en sujetos de 10 a 18 años por bioimpedancia eléctrica mediante el mBCA y su validación por métodos de referencia.



Presenta

Jaquelyn Aguilar Troncoso

Hermosillo, Sonora

Octubre, 2017

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo económico brindado durante esta importante etapa en mi vida profesional.

A la Universidad de Sonora, particularmente al departamento de Posgrado en Ciencias de la Salud por permitirme continuar mi desarrollo profesional a través del programa de Maestría en Ciencias de la Salud.

A todos los miembros del Laboratorio de Nutrición de la Universidad de Sonora. Primero que nada a la M.C. Lesley Antunez, por la capacitarme en la utilización de todos y cada uno de los equipos que utilicé para realizar las mediciones, también por aconsejarme y apoyarme en todo lo que ocupé a lo largo de éste proyecto. A mi amiga Luz, por estar siempre dispuesta a escucharme y ayudarme con todas las dudas que llegue a tener, por hacerte ir al lab los sábados, por todos los momentos de risas, estrés, chismes que pasamos. A Mary, que fue una parte elemental en mi proyecto, que siempre estuvo con la mejor de las actitudes y la mejor de las sonrisas dispuesta ayudarme a sacar adelante el proyecto, que lo adoptaste como si fuera tuyo, por convertirte en una muy buena amiga. A José Carlos, porque a pesar de que te daba asco el tener que trabajar con salivas siempre estuviste ahí apoyándome, por empujar el DXA cuando lo necesitara y con todas las demás mediciones, incluso en sábados. A César, que siempre amenizó los momentos más caóticos con un mal chiste o alguna anécdota que contar, por todas las dudas que me ayudaste a resolver. A Jessica, que se ofreció a ayudarme desde buscar voluntarios hasta resolver mis dudas de estadística. A la maestra Consuelo, aportándome siempre muy buenos consejos sobre la redacción de mi tesis y por compartir el micrófono conmigo en las reuniones del lab. A la Dra. Vero, que me apoyó en la captación de voluntarios con sus alumnos. A la maestra Érika, que me facilitó el acceso del Centro de Promoción de Salud Nutricional los días que tenía medición, incluso en sábados.

Un agradecimiento especial a mis sinodales, y co-investigadores del proyecto, la M.C. Alma E. Robles (Maxi), que desde que la conozco me ha apoyado incondicionalmente y ha sido muy buena conmigo, así como también agradezco todos los consejos que me ha dado. Al Dr. Giovanni, por siempre estar en muy buena disposición durante el proyecto, sobre todo motivándome.

A mi director de tesis y abuelito científico, el Dr. Mauro Valencia. Siempre agradeceré la oportunidad que me dió por adoptarme como su estudiante, por toda su paciencia y dedicación, por todas las anécdotas que compartió conmigo, los chistes, todos los conocimientos que me proporcionó y sobre todo por hacerme sentir siempre bienvenida. “Tenkiu” doc!

A mis amigas de la maestría Anna, Diana, Vero, Karem, Bere, Teresita y Viri, que a pesar de todas estar pasando por los mismos altos y bajos, siempre encontraron la manera de impulsarme y motivarme a seguir adelante, y que forman una parte importantísima en mi vida.

A mis papis y hermano que siempre me estuvieron apoyando en todo lo que necesitara, que han estado a mi lado en los momentos más felices y también en los más difíciles, ayudándome a ser una mejor persona y una mejor profesionalista. Gracias a su formación soy lo que soy.

A mi novio, que me aguantó en todos mis momentos de crisis existencial y estrés. Por ayudarme a ensayar mis presentaciones de power point, por tratar de hacer este camino más fácil, por siempre estar a mi lado y por ser como eres conmigo.

Por último, a Dios, ya que cruzó en mi camino a las mejores personas que pudo haberme mandado para ayudarme a concretar mis metas profesionales.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todas aquellas personas que voluntariamente accedieron a ser parte de este estudio, ya que sin ellos, no se hubiera podido concretar.

Y sobre todo a mis papis, por todo su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, por mostrarme siempre el camino hacia la superación.

Ha sido un privilegio para mi ser su hija, son los mejores papás que Dios me pudo dar.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| HIPÓTESIS | ix |
| OBJETIVO GENERAL..... | ix |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | ix |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| ANTECEDENTES | 4 |
| Métodos de Medición | 5 |
| Métodos de Referencia | 7 |
| Pletismografía por desplazamiento de aire (BODPOD)..... | 7 |
| Absorciometría Dual de Rayos X (DXA)..... | 7 |
| Dilución con Óxido de Deuterio (D ₂ O)..... | 8 |
| Métodos Estimativos | 12 |
| Bioimpedancia Eléctrica (BIE)..... | 12 |
| Medical Body Composition Analyzer (mBCA)..... | 16 |
| METODOLOGÍA..... | 18 |
| Diseño General del Estudio | 18 |
| Consideraciones Bioéticas | 18 |
| Sujetos | 18 |
| Inclusión | 18 |
| Exclusión | 18 |
| Selección y tamaño de muestra | 19 |
| Métodos..... | 19 |
| Evaluación Antropométrica del Estado Nutricio..... | 19 |
| Evaluación de la Composición Corporal..... | 20 |
| Análisis Estadísticos..... | 28 |

| | |
|---|----|
| RESULTADOS | 30 |
| Composición Corporal | 30 |
| Desarrollo, Validación y Aplicación de Modelos Predictivos..... | 32 |
| Efecto de la Posición Horizontal y Vertical en la Medición de los Parámetros de Bioimpedancia Eléctrica | 38 |
| Comparación de la Composición Corporal Validada en el mBCA con los Sistemas Horizontales de BIE con el RJL e Impedimed | 38 |
| DISCUSIÓN..... | 42 |
| CONCLUSIONES..... | 46 |
| REFERENCIAS | 47 |
| APÉNDICES..... | 54 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I. Hidratación de la MLG (%) en niños y adolescentes..... | 11 |
| Tabla II. Características antropométricas y de composición corporal en jóvenes de 10 – 18 años | 31 |
| Tabla III. Análisis de regresión múltiple para determinar las variables asociadas a la MLG (n=30) | 33 |
| Tabla IV. Ecuación de 4C obtenida y ecuaciones reportadas de 2C | 33 |
| Tabla V. Porcentaje de MG por 4C del mBCA a partir de los métodos de 2, 3 y 4 compartimentos utilizados en este estudio..... | 37 |
| Tabla VI. Valores de bioimpedancia utilizados como predictores del agua corporal total y la MLG en los sistemas de BIE horizontales (RJL e Impedimed) y vertical (mBCA). | 40 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Compartimentos corporales (Heymsfield y col., 1996) | 6 |
| Figura 2. La impedancia (Z) de un conductor isotrópico geométrico, está relacionada con su resistividad específica (ρ), longitud (L) y área de sección transversal (A)..... | 15 |
| Figura 3. Dosificación con deuterio..... | 22 |
| Figura 4. Análisis de saliva para la obtención de deuterio por FTIR..... | 22 |
| Figura 5. Medición del contenido mineral óseo por DXA. | 24 |
| Figura 6. Medición de la densidad corporal por BODPOD | 24 |
| Figura 7. Bioimpedancia eléctrica en posición vertical (mBCA)..... | 27 |
| Figura 8. Análisis Bland-Altman de MLG por modelo 4 compartimientos medido y estimado por BIE. | 35 |
| Figura 9. Línea de identidad, MLG 4C (kg) Medido vs MLG 4C (kg) estimado por BIE..... | 35 |
| Figura 10. Grasa corporal (kg) obtenida por los 3 sistemas de BIE..... | 41 |
| Figura 11. Masa Libre de Grasa (kg) obtenida por los 3 sistemas de BIE.... | 41 |

HIPÓTESIS

La masa libre de grasa (MLG) estimada por el mBCA en posición vertical será diferente a la estimada por los equipos de bioimpedancia eléctrica convencionales de unifrecuencia en posición horizontal.

OBJETIVO GENERAL

Validar el mBCA basado en la determinación de la composición corporal por métodos de referencia en jóvenes de 10 a 18 años de ambos sexos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir la composición corporal mediante los métodos de referencia: densidad corporal, agua corporal total y contenido mineral óseo.
- Generar un algoritmo de predicción de la composición corporal para el mBCA basados en un modelo de 4C, utilizando los tres métodos de referencia.
- Validar la concordancia del algoritmo generado bajo los criterios de exactitud, precisión y sesgo.
- Comparar la composición corporal validada en el mBCA con los sistemas horizontales de BIE con el RJL e Impedimed.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, aún persiste la existencia y coexistencia de problemas de desnutrición y nutrición por exceso. La OMS considera que a nivel mundial, por un lado, el hambre y una nutrición inapropiada contribuyen a la muerte prematura de madres, lactantes y niños pequeños, así como a un deficiente desarrollo físico y cerebral en los jóvenes, mientras que, por otro lado, el aumento en las tasas de sobrepeso y obesidad está relacionado con el incremento en las enfermedades crónicas (Velasco-Lavín, 2016).

El índice de masa corporal (IMC) construido a partir de la relación de la masa corporal total dividida entre la estatura elevada al cuadrado, es un indicador que se utiliza para catalogar a las personas en cuanto a su tamaño corporal, pero no proporciona valores métricos de la composición corporal, específicamente de la masa grasa (MG) o masa libre de grasa (MLG) (Bellisari y *col.*, 2007).

De esta manera, surge en años recientes la propuesta de desagregar el índice de masa corporal (IMC, kg/m^2) en índice de masa grasa (IMG, kg/m^2) e índice de masa libre de grasa (IMLG kg/m^2), para lo cual se requieren determinar estos compartimentos de preferencia con los mejores métodos disponibles. A su vez, estos nuevos índices se pueden utilizar para la construcción de gráficos Hattori que permiten analizar los cambios en la proporcionalidad de estos índices en programas de intervención o seguimiento (Hattori y *col.*, 1997).

El análisis de la composición corporal se ha convertido en una herramienta útil en contextos clínicos y de investigación. Su uso en la población pediátrica es complicado por los rápidos periodos de crecimiento y desarrollo físico que son característicos de la infancia y de la adolescencia. El comprender la naturaleza cambiante de la composición corporal durante este tiempo es crucial para elegir la técnica de medición más apropiada para una determinada persona o población y es especialmente importante al evaluar la desnutrición, obesidad y

el riesgo metabólico en pacientes con enfermedades crónicas (Weber y *col.*, 2012).

La evaluación de la composición corporal consiste en el fraccionamiento de la masa corporal total en sus distintos componentes principales (Ellis, 2000).

Para el análisis de la composición corporal, generalmente se emplean métodos que utilizan el modelo de dos compartimentos (2C). En este tipo de modelos, la masa corporal total se divide en MG y MLG a partir de la estimación de la densidad corporal total por hidrodensitometría, tradicionalmente utilizando las ecuaciones de Siri (1961) y de Brožek y *col.* (1963). La MLG es el componente con mayor variación en el cuerpo, ya que incluye los compartimentos de agua, masa ósea y proteína. Los modelos de 2C aceptan varios supuestos o constantes en la MLG para aplicarse tanto en adultos como en niños (Ramírez López y *col.*, 2008).

Una manera de acercarse más a la medición exacta de la composición corporal es a través de la reducción de los supuestos de los componentes de la MLG, principalmente su nivel de hidratación y las variaciones del contenido mineral óseo que a su vez impactan la densidad. Esto se puede lograr empleando, diversas técnicas y midiendo de manera independiente cada componente. El contenido mineral óseo por absorciometría dual de rayos X (DXA), el agua corporal total (ACT) por métodos de dilución como óxido de deuterio y la densidad corporal por hidrodensitometría o pletismografía por desplazamiento de aire (BOD POD). Así, es posible calcular la MG y por diferencia la MLG, en lo que se conoce como modelo de 4 compartimentos (4C), considerado como uno de los mejores métodos de referencia en el ámbito de la composición corporal (Ramírez López y *col.*, 2008).

Los modelos de 2C y 4C han sido considerados como métodos de referencia, es decir, modelos contra los cuales se comparan o validan otras técnicas (doblemente indirectas), más sencillas, prácticas y menos costosas como

la antropometría y la bioimpedancia eléctrica. Estas técnicas más sencillas, están basadas en algoritmos de estimación o ecuaciones predictoras de los componentes de la MG o MLG (Ramírez López y *col.*, 2008). No obstante, el modelo de 4C se considera la mejor referencia estándar en la medición de la composición corporal que permite evaluar la precisión y validez de los modelos de 2C. (Wells y *col.*, 1999; Withers y *col.*, 1999).

ANTECEDENTES

El estudio de la composición corporal tiene una larga trayectoria histórica, los primeros conceptos de composición corporal se remontan en la antigua Grecia alrededor del año 400 a.C. En esa época se creía que los seres humanos estaban hechos de los mismos elementos básicos que constituían el cosmos (Schultz, 2002).

Hasta el inicio del siglo XX, el análisis de la composición corporal era llevado a cabo a través de la disección de cadáveres, que actualmente es considerado el único método directo de evaluación de la composición corporal (Clarys y col., 1984). Después, a mediados del siglo XX surgieron los métodos indirectos que establecen los principios utilizados hasta el día de hoy. Se produjeron avances significativos a partir de los trabajos de Matiegka (1921) quien describe el primer sistema para llegar a la estimación de los componentes del peso corporal a partir de dimensiones antropométricas. A principios de los años 40 Behnke y col., proporcionaron un método simple y práctico para medir la MG y MLG mediante el método de la pesada hidrostática (Behnke y col., 1942). Posteriormente, en los años 60 se dio paso a un amplio abanico de posibilidades en el análisis de la composición del cuerpo humano, ya que además de los modelos antropométricos desarrollados se sentaron las bases teóricas de técnicas aplicadas como la absorciometría dual de rayos-x (DXA) o la activación de neutrones *in vivo*. En los siguientes años proliferan algunos métodos físico-químicos como la determinación de la creatinina urinaria por su relación con la masa muscular (Folin, 1905), la estimación del volumen de agua corporal por medio del deuterio, la radiografía para estimar componente óseo, adiposo y muscular, la bioimpedancia relacionada con el componente libre de grasa o la asociación entre ^{40}K y la masa magra. Posteriormente, la pletismografía por desplazamiento de aire, el análisis de bioimpedancia eléctrica y la tomografía axial computarizada (TAC) aparecieron gracias a los avances tecnológicos (Mattsson y col., 2006; Pietrobelli y col., 2005; Serrano y col., 2007; Shen y col., 2007).

Métodos de Medición

Las técnicas de análisis de la composición corporal son muy variadas y se fundamentan en aspectos muy diferentes. Entre los métodos de medición se encuentran los métodos de referencia y las técnicas estimativas.

Mediante el método de dilución con deuterio (D_2O), la pletismografía por desplazamiento de aire (con el BOD POD) y la absorciometría dual de rayos X (DXA), es posible medir componentes específicos como la masa mineral ósea, el agua corporal y la densidad del cuerpo. La combinación de las tres técnicas y sus mediciones específicas, permite desarrollar lo que se conoce como un modelo de 4 compartimentos en composición corporal (Figura 1) (4C: masa ósea; ACT; MG y un componente residual anhidro, conformado fundamentalmente por: proteína, y glucógeno en menor grado). Por separado, cada técnica permite obtener estimaciones confiables de la MG y de la MLG, en lo que se conoce como un modelo de 2C (Ramírez López y *col.*, 2008).

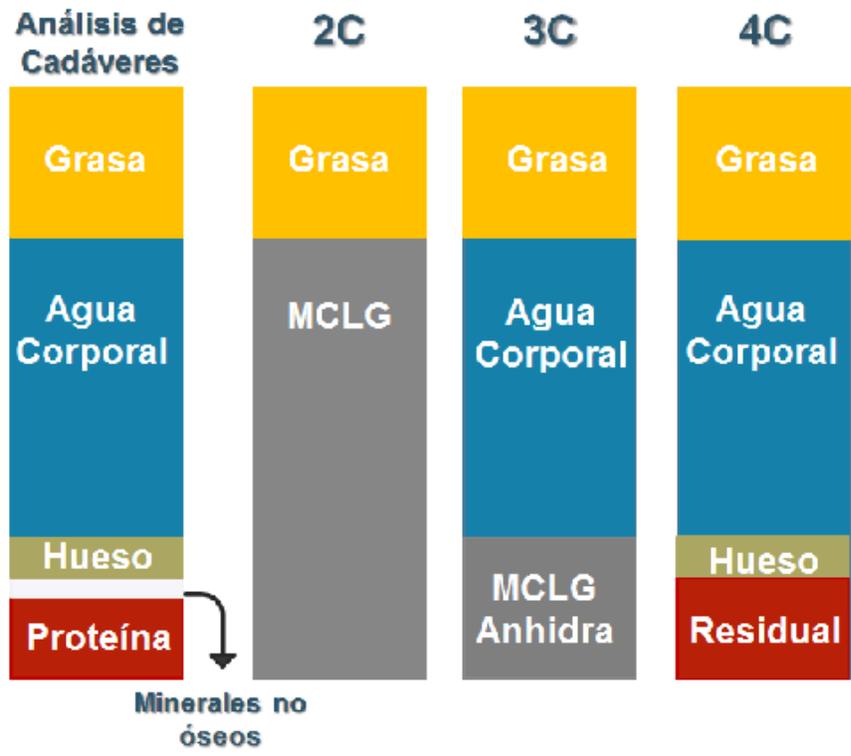


Figura 1. Compartimentos corporales (Heymsfield y col., 1996)

Métodos de Referencia

Pletismografía por desplazamiento de aire (BODPOD).

El BODPOD es un pletismógrafo compuesto por una cápsula dual de fibra de vidrio e integrado por dos cámaras: la frontal o de prueba y la posterior o de referencia (Dempster y *col.*, 1995).

El volumen de un objeto se mide de manera indirecta mediante la medición del volumen de aire que se desplaza dentro de una cámara cerrada. Éste se calcula indirectamente mediante la resta de la cantidad del volumen de aire que queda en la cámara cuando el sujeto está adentro a la cantidad total del volumen de aire contenido en ella cuando está vacía (Dempster y *col.*, 1995).

La relación proporcional de presión entre las cámaras está inversamente relacionada y se caracteriza por la Ley de Boyle: $P1/P2=V2/V1$. Donde V1 y P1 representan el volumen y la presión antes de que el sujeto se introduzca a la cámara, mientras que V2 y P2 representan el volumen y la presión cuando el sujeto está dentro de la cámara (Lohman y *col.*, 1988). Con la medición del volumen y añadiendo el peso corporal (masa), se obtiene la densidad (Dempster y *col.*, 1995).

El pletismógrafo es un equipo ampliamente probado en el campo que ofrece buenos resultados (Fields y *col.*, 2002) y que ha sido evaluado en población con obesidad obteniendo resultados confiables (Petroni y *col.*, 2003).

Absorciometría Dual de Rayos X (DXA).

El DXA es un instrumento utilizado para medir diferentes parámetros de la composición corporal como la masa muscular, la masa grasa y el contenido mineral ósea (CMO) (Lorente Ramos y *col.*, 2012). Y, a partir de esos datos, se puede estimar el riesgo de fractura, tomar decisiones terapéuticas, evaluar la

respuesta al tratamiento, así mismo, analizar la composición corporal total (Cummings y *col.*, 2002).

La medición por DXA se basa en la absorción variable de los rayos X por los diferentes componentes del organismo y emplea fotones de rayos X de alta y baja energía. Dependiendo del equipo a utilizar, el generador emite de forma alternante radiación de alto (140 kVp) y bajo (70-100 kVp) kilovoltaje mientras se desplaza sobre la superficie del cuerpo a estudiar (Adams, 1998). Las diferencias en la atenuación de los rayos X por el hueso y los tejidos blandos hace posible calcular la masa de cada uno de estos tejidos (Genant y *col.*, 1994).

El estudio de la composición corporal mediante DXA, asume que existen tres tipos de componentes en el cuerpo con base en las propiedades de atenuación de los rayos X: masa muscular, masa grasa y masa mineral esquelética. Los tejidos blandos muestran un alto contenido de agua y compuestos orgánicos con lo que se reduce diferencialmente el flujo de fotones en comparación con el mineral óseo. Por esto, los pixeles que contienen hueso son mucho más fáciles de distinguir (Plank, 2005). Así, el contenido de grasa de los tejidos blandos se estima a partir de una atenuación que se supone es constante en la grasa pura y en el tejido magro sin mineral óseo (Ramírez López y *col.*, 2008).

Dilución con Óxido de Deuterio (D₂O).

El agua es el mayor componente del cuerpo. Al nacer, el cuerpo contiene entre 70% a 75% de agua; al crecer, la proporción disminuye a 50-60% en adultos sanos, y en el orden de 40% en adultos con obesidad. En el modelo de 2C de composición corporal, el cuerpo se divide en MG y MLG; donde la hidratación de la MLG es la proporción de agua contenida en este compartimento. Se supone un porcentaje de 73.2 en adultos (IAEA, 2011b), donde la MLG (kg) = ACT (kg)/0.732.

El coeficiente de hidratación de 0.732 en el adulto no se puede aplicar a los niños y lactantes, pues se sabe que la hidratación de los tejidos magros va cambiando a medida que el cuerpo se desarrolla durante la lactancia. Durante la infancia, al ir aumentando la proporción de masa muscular, disminuye la hidratación de la MLG (Lohman, 1986; Lohman, 1992). En la Tabla I se enlistan los diferentes coeficientes de hidratación según el rango de edad que hasta la actualidad se han reportado.

El ACT puede medirse utilizando la técnica de dilución con óxido de deuterio (D_2O), y también se puede estimar por bioimpedancia eléctrica (BIE); la cual requiere de una ecuación de predicción específica para la población a medir (IAEA, 2011b).

El deuterio es un isótopo estable no radiactivo de hidrógeno (2H), que se encuentra naturalmente en el cuerpo humano en bajas cantidades. En la técnica de dilución con deuterio para medir el agua corporal, se administra oralmente una dosis conocida de D_2O (99.8% pureza, Cambridge Isotope Laboratories, Inc, USA), la dosis administrada, luego de unas horas, se mezcla y homogeniza con el agua corporal y se puede rastrear en muestras biológicas como orina, saliva, sudor y leche materna (IAEA, 2011b). Lo más práctico es usar saliva para cuantificar la concentración natural o basal de deuterio en el cuerpo (~150 ppm), y después de haberse administrado la dosis. La estabilización del deuterio en los fluidos corporales tiene diferentes tiempos según la edad del sujeto medido. A mayor edad, menor cantidad de agua y menor recambio de agua por lo que es necesario aumentar el tiempo entre la dosificación y la toma de muestra post-dosis, normalmente el tiempo de equilibrio se encuentra generalmente en las primeras tres horas y hasta 6 horas en adultos mayores o en cierto tipo de patologías (IAEA, 2009). El análisis de la muestra biológica se realiza por espectrometría de masas de relación isotópica o por espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). Cuando se mide el enriquecimiento en D_2O de la saliva por espectrometría FTIR, los resultados vienen expresados en mg de

$^2\text{H}_2\text{O}$ por kg de H_2O (ppm). Para obtener el cálculo de ACT, se aplica el principio de dilución (IAEA, 2011b): $\text{ACT}(\text{kg}) = \text{Dosis } ^2\text{H}_2\text{O} (\text{mg}) / \text{enriquecimiento en } ^2\text{H de la saliva (mg/kg)}$.

Tabla I. Hidratación de la MLG (%) en niños y adolescentes

| Edad (años) | Hombres | Mujeres |
|-------------|---------|---------|
| 1 | 79 | 78.8 |
| 1-2 | 78.6 | 78.5 |
| 3-4 | 77.8 | 78.3 |
| 5-6 | 77 | 78 |
| 7-8 | 76.8 | 77.6 |
| 9-10 | 76.2 | 77 |
| 11-12 | 75.4 | 76.6 |
| 13-14 | 74.7 | 75.5 |
| 15-16 | 74.2 | 75 |
| 17-20 | 73.8 | 74.5 |

(Lohman, 1992)

Métodos Estimativos

Bioimpedancia Eléctrica (BIE).

La bioimpedancia eléctrica (BIE) es una técnica simple, rápida y no invasiva que permite la estimación del agua corporal total (ACT). El fundamento biológico de la bioimpedancia reside en la distinta resistencia de los tejidos corporales al paso de una corriente eléctrica, en función de la cantidad y distribución de agua y electrolitos en los distintos compartimentos corporales (Lukaski, 1987).

El principio de la BIE es que la impedancia (Z) en un conductor cilíndrico es proporcional a la longitud (L) e inversamente proporcional a la sección transversal (A) (Kushner, 1992). Suponiendo que la frecuencia de la señal y la configuración del conductor sean constantes, la impedancia al flujo de corriente puede estar relacionada con el tamaño o volumen del conductor (Figura 2) (Hoffer y col., 1969).

Si el volumen del conductor (V) es su longitud multiplicada por su área, se puede sustituir la estatura de una persona (T) por la longitud del conductor, resultando una relación entre la estatura y la resistencia llamado índice de resistencia (IR) proporcional al volumen corporal $V = \rho (T^2/R)$ (Hoffer y col., 1969).

Medir el “volumen eléctrico” de un compartimento del cuerpo, tal como ACT o MLG, se basa en el principio de que diversos tejidos biológicos actúan como conductores, semiconductores o dieléctricos. El tejido magro contiene grandes cantidades de agua y electrolitos y es altamente conductor (baja impedancia); en cambio, la grasa y el hueso son sustancias dieléctricas y son malos conductores (alta impedancia) (Hoffer y col., 1969; Kushner, 1992)

La Z corporal, está determinada por la relación vectorial entre la resistencia (R) y la reactancia (Xc) medida a una determinada frecuencia de la corriente de acuerdo con la ecuación (Wang y col., 2005):

$$Z^2 = R^2 + Xc^2$$

La R representa la resistencia de los tejidos al paso de una corriente eléctrica y Xc es la oposición adicional debido a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares (representan componente dieléctrico) (Kushner, 1992). La R, es proporcional a la longitud del cuerpo e inversamente proporcional al área de sección. Por ello, un cuerpo largo tendrá una gran resistencia en relación con uno más corto, y un cuerpo con un área de sección pequeña, tendrá una R menor (Alvero-Cruz y *col.*, 2011).

La metodología más utilizada para realizar una BIE de cuerpo entero es la tetra polar, que consiste en la colocación de 4 electrodos: dos a través de los cuales se introduce una corriente alterna y otros dos que recogen esta corriente midiéndose los valores de R y Xc corporal. Estos electrodos deben colocarse a una distancia mayor de 4-5 cm, ya que puede haber interferencias y, por tanto, valores erróneos de la R y la Xc. Las medidas de impedancia deben tomarse en posición de decúbito supino y los electrodos deben disponerse en la mano-muñeca y el pie-tobillo (Lukaski, 1987). La posición de decúbito supino es para disminuir los efectos de la gravedad en la tendencia de remansar el agua en las extremidades inferiores después de la bipedestación (Kyle y *col.*, 2001; Lukaski, 1987; Slinde y *col.*, 2003).

La mayoría de los aparatos de mono frecuencia normalmente operan a una frecuencia de 50 KHz. En esta frecuencia (50 KHz), el índice de impedancia es directamente proporcional al ACT y permite el cálculo de la MLG, pero no permite determinar, ni diferenciar, el agua intracelular (AIC) y extracelular (AEC) (Kyle y *col.*, 2001).

Los instrumentos BIE multifrecuencia (RJL, BodyStat, ImpediMed, etc), utilizan modelos empíricos de regresión lineal a diferentes frecuencias, como 0, 1, 5, 50, 100, 200 y 500 KHz, para estimar el ACT, el AEC y el AIC, y por derivación, la MLG. A frecuencias por debajo de 5 KHz y por encima de 200 KHz, se ha comprobado una baja reproducibilidad especialmente para la reactancia a bajas frecuencias. Igualmente se ha descrito una mejor precisión y un sesgo menor de

los aparatos multifrecuencia para las estimaciones de AEC respecto a los aparatos monofrecuencia, y una mejor predicción del ACT que los de espectroscopia bioeléctrica (BIS) (Hannan y *col.*, 1994; Hannan y *col.*, 1995).

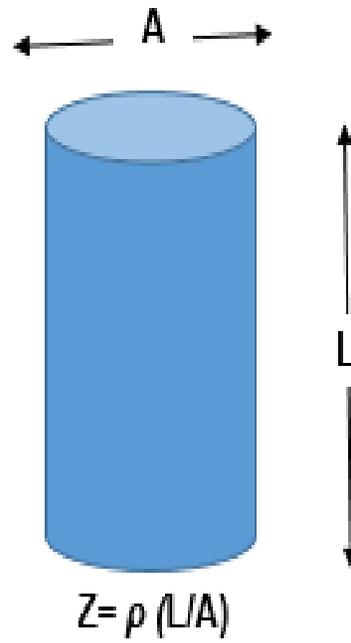


Figura 2. La impedancia (Z) de un conductor isotrópico geométrico, está relacionada con su resistividad específica (ρ), longitud (L) y área de sección transversal (A).

Medical Body Composition Analyzer (mBCA).

Las nuevas tecnologías de BIE de multifrecuencia, han facilitado el desarrollo de nuevos dispositivos de impedancia como el Medical Body Composition Analyzer (mBCA, posición vertical), el cual declara que novedosamente mejora la precisión y exactitud debido a los siguientes factores: i) medidas segmentales de brazos, piernas y tronco, que podrían reducir los supuestos acerca de la forma del cuerpo. ii) medidas exactas de R y X_c , en un espectro de frecuencias desde 1 hasta 1000 kHz y una gran precisión respecto a la postura y contacto con los electrodos (Bosy-Westphal y *col.*, 2013).

Bosy-Westphal y *col.* (2013) llevaron a cabo un estudio con una muestra multiétnica independiente de 130 hombres y mujeres con edades entre 18 y 65 años (32 caucásicos, 36 asiáticos, 31 afroamericanos y 31 hispanos con medidas de IMC entre 19.8 y 33.7 kg/m²) con el objetivo de investigar si las medidas segmentales con el recientemente desarrollado mBCA mejoraría la exactitud de los resultados de BIA y si reduciría los supuestos con relación a la forma del cuerpo que contribuyen a la especificidad de la población de un algoritmo BIA. Concluyendo que el sistema mBCA es una herramienta válida para estimar la composición corporal en adultos sanos, que se puede comparar con la validez y precisión de otros métodos de referencia de dos compartimentos (BODPOD, D₂O y DXA)

La validación de los modelos de 2C permite el desarrollo de ecuaciones para predecir la MLG y el ACT con el empleo de técnicas más sencillas como el método de BIE. No obstante, las ecuaciones de predicción de la composición corporal publicadas pueden tener algunas limitaciones para su aplicación ya que fueron desarrolladas para poblaciones específicas con características biológicas diferentes a los de países como el nuestro y limitantes en los intervalos de edad (Deurenberg y *col.*, 1989; Schaefer y *col.*, 1994)

Es conocido que una ecuación no solo debe estar validada por métodos de referencia adecuados; sino que también debe validarse en la población para la cual fue diseñada y ser específica para la edad, el sexo y el origen étnico del grupo de estudio. En estudios con niños se puede encontrar el empleo de ecuaciones que no cumplen con las características citadas, incluyendo el uso de ecuaciones para adultos, las cuales pueden sobre-estimar la MLG y subestimar la proporción de MG hasta un 10% (Mast y col., 2002).

Dado al intervalo de edad en el que se desarrolló este estudio de validación para el mBCA (18 a 65 años), surge el interés y la necesidad de evaluar y validar esta variante del método en adolescentes y adultos jóvenes que permitirán dar seguimiento y evaluar de manera precisa el estado nutricional en menores de edad.

METODOLOGÍA

Diseño General del Estudio

El presente estudio se planteó con un diseño transversal, por cuotas.

Consideraciones Bioéticas

El estudio contó con la aprobación del Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora, como estudio de riesgo mínimo (Apéndice 1). Una vez aprobado, a los participantes se les explicó el protocolo a seguir, solicitándoles la firma del consentimiento informado a los padres o tutores de los voluntarios y la firma del asentimiento informado por parte de los participantes (Apéndices 2, 3 y 4).

Sujetos

Los criterios de participación fueron los siguientes:

Inclusión

- Jóvenes de sexo femenino y masculino aparentemente sanos con edades entre 10 y 18 años de edad.
- Contar con la firma de consentimiento informado por parte de sus padres o tutores.
- Firmar el formato de asentimiento informado por parte del participante.

Exclusión

- Tener prótesis metálicas o marca pasos.
- Presentar vómito, diarrea o fiebre 72 horas previas a las mediciones.

- Tomar medicamentos que pudieran afectar el estado hídrico o presentar alguna enfermedad que comprometa el estado hídrico del participante.

Selección y tamaño de muestra

Se seleccionaron por invitación a 64 participantes (32 de sexo femenino y 32 de sexo masculino) entre 10 y 18 años de edad (Apéndice 6). Se dividieron en 8 categorías por edades, teniendo en cada categoría 4 de sexo femenino y 4 de sexo masculino, procurando distribuir para cada grupo del IMC desde delgados, intermedios, con sobrepeso y obesidad no mórbida, basados en el puntaje Z-IMC/Edad de acuerdo a los valores de referencia de OMS (2007).

Métodos

A cada participante se le realizaron las siguientes mediciones en el Laboratorio de Nutrición y en el Centro de Promoción de Salud Nutricional de la Universidad de Sonora, Campus Hermosillo. Los resultados obtenidos se les entregaron a cada uno de los participantes (Apéndices 7 y 8).

Evaluación Antropométrica del Estado Nutricio

Peso. Se pesó a los participantes en una balanza electrónica digital con capacidad de 0 a 200 kg \pm 0.05 kg (SECA® modelo: 872 1321959) colocada en una superficie nivelada, sin zapatos, con ropa ligera, removiendo cualquier accesorio o prenda innecesaria que aumente el peso y procurando un ayuno de 2 horas (Gibson, 2005; Lohman y *col.*, 1988)

Talla. Se tomó la talla utilizando un estadiómetro con un alcance de 30 a 205 cm \pm 1mm (SECA® modelo: 217 1721009). Se midieron a los participantes sin calzado, de espalda al estadiómetro, con talones juntos y puntas ligeramente separadas. Con la parte posterior del sujeto en contacto con la superficie del estadiómetro, asegurando que las rodillas no se encontraran flexionadas y

respetando el plano de Frankfurt. Se le pidió al participante una inhalación y exhalación profunda, al momento en que se exhala se tomó la medición. (Gibson, 2005; Lohman y *col.*, 1988)

Índice de Masa Corporal para la Edad (IMC/E). Se calculó el IMC/E por medio del programa Anthro Plus para evaluar delgadez, sobrepeso y obesidad mediante puntajes Z de acuerdo a la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007).

Pliegue Cutáneo Tricipital. Se midió el pliegue cutáneo tricipital mediante la técnica ISAK con un plicómetro (Harpenden Skinfold Caliper Baty International® modelo: RH15 9LR) (Marfell-Jones y *col.*, 2012)

Circunferencia de Cintura. La medida de cintura se tomó de pie, a nivel de la cicatriz umbilical con una cinta métrica de fibra de vidrio (Gulik, capacidad 180 cm).

Evaluación de la Composición Corporal

Dilución con Óxido de Deuterio. En la técnica de dilución con deuterio para medir el agua corporal, se administra oralmente una dosis conocida como óxido de deuterio (D₂O) (99.8% de pureza, Cambridge Isotope Laboratories Inc, USA) (IAEA, 2011b). Antes de realizar la dosificación, se le sugirió al participante vaciar su vejiga y evitar el uso del baño con el fin de monitorear las entradas y salidas de agua en el cuerpo.

Se tomó una muestra de saliva basal de 1 a 2 ml con un hisopo de algodón estéril, el cual se colocó en la boca del participante durante 2 minutos o hasta que se encontrara lo suficientemente mojado, después se extrajo y se colocó en una jeringa de 20ml para extraer la saliva y colectarla en un vial criogénico etiquetado con la clave del voluntario y la hora de la toma de la muestra, portando siempre guantes de látex nuevos por cada participante. Una vez que se obtuvo la muestra basal se realizó el cálculo para obtener la cantidad de dosis, la cual se administró

a razón de 0.5g de D₂O por kg de peso corporal. Posteriormente, se realizó la dosificación del isótopo; girando cuidadosamente el recipiente que contenía D₂O para evitar con esto el fenómeno de fraccionamiento isotópico. Se destapó el recipiente y con un popote se ofreció la dosis al voluntario. Una vez ingerida la dosis completa, se añadió al recipiente 25ml de agua potable con el fin de que los residuos de deuterio se diluyeran en el agua. Con el mismo popote se le ofreció ésta agua al voluntario hasta consumirlo en su totalidad; éste paso se realizó 2 veces (Figura 3). Inmediatamente después, se registró la hora de dosificación (IAEA, 2011b).

Se tomaron muestras de saliva 3 horas después de la dosificación, con un hisopo de algodón estéril mediante la técnica descrita anteriormente. Las muestras de saliva se colocaron en bolsas herméticas y se congelaron a -20°C hasta su análisis por Espectrometría de Infrarrojo por Transformadas de Fourier (FTIR) con el equipo Shimadzu Affinity-1 (Shimadzu Corp. Japón) (Figura 4). Por medio de este análisis se obtuvo el enriquecimiento de D₂O de las muestras en mg/kg (IAEA, 2011b)

El agua corporal total se calculó mediante la siguiente fórmula(IAEA, 2011b):

$$ACT = \frac{((Concentración\ de\ D_2O\ en\ la\ dosis)(Dosis\ administrada)/1.042)}{Enriquecimiento\ de\ D_2O\ en\ la\ muestra\ de\ saliva\ post\ dosis}$$

En donde la concentración de deuterio en la dosis se encuentra indicada en el recipiente de deuterio, la cantidad de dosis administrada se recabó del expediente de cada voluntario, se utilizó el factor de corrección de 1.042 debido al secuestro de deuterio y su incorporación proteína y lípidos principalmente (4.2% del total de deuterio). Finalmente el enriquecimiento de deuterio en la dosis se midió por FTIR (IAEA, 2011b).



Figura 3. Dosificación con deuterio

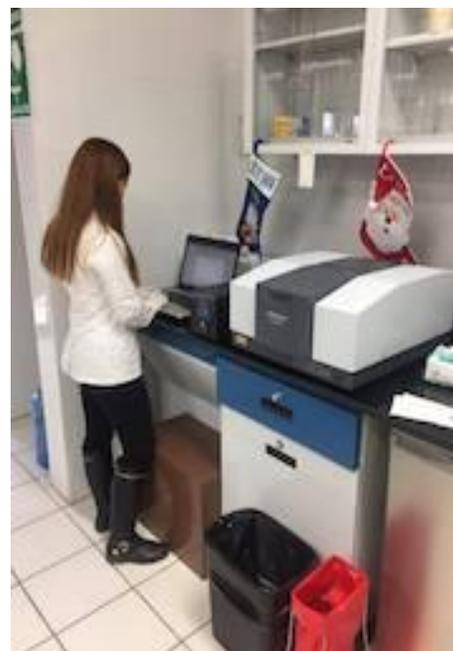
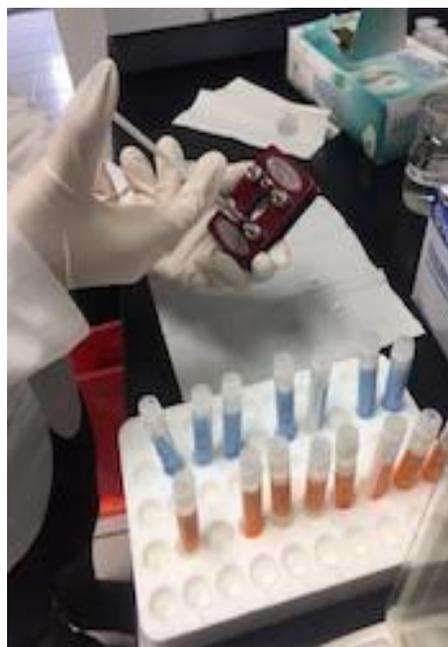


Figura 4. Análisis de saliva para la obtención de deuterio por FTIR.

Absorciometría Dual de Rayos X (DXA). La medición se realizó con el equipo QDR Hologic Discovery A (Figura 5). El equipo debe calentarse 45 minutos antes de comenzar el control de calidad que utiliza el fantasma de columna incluido en el equipo. Una vez calibrado el equipo, el voluntario se recostó en el centro de la mesa del equipo en posición decúbito supino alineado a lo largo del escáner, con la cabeza hacia arriba y cerca de la orilla de la mesa. Los brazos y piernas separadas del tronco, procurando que la punta de los pies se tocara ligeramente y que las palmas de las manos estuvieran planas sobre mesa. La persona a medir debe portar ropa libre de metal. Se requiere que el sujeto no realice ningún tipo de movimiento durante la medición. El resultado muestra un reporte de masa mineral ósea y de composición corporal. La radiación recibida es de aproximadamente 4.2 μSv (radiación de fondo de 1 día: 7 μSv) (Blake y *col.*, 2006; IAEA, 2011a)

Pletismografía por Desplazamiento de Aire (BOD POD). La densidad del cuerpo se midió mediante el equipo BODPOD (Figura 6). Este equipo tiene dos cámaras separadas por un dispositivo que produce fluctuaciones de presión y cambios de volumen que permiten evaluar el volumen corporal. Para poder realizar la medición los voluntarios vistieron ropa ajustada al cuerpo y un gorro de natación, ya que, debido a que el equipo mide volumen corporal, la ropa holgada aumenta éste volumen y el cálculo de la densidad corporal es menor (Aleman-Mateo y *col.*, 2007; Dempster y *col.*, 1995). Los voluntarios se pesaron primero con la balanza electrónica del equipo. Después se realizó una calibración de dos puntos, con la cámara vacía y con un cilindro de 50L como fantasma. Después del procedimiento de calibración, el volumen corporal del sujeto se midió dos veces mientras permanecían sentados tranquilamente en la cámara del equipo y respirando normalmente. En la segunda medición, se midió el volumen pulmonar para corregir el volumen corporal.



Figura 5. Medición del contenido mineral óseo por DXA.



Figura 6. Medición de la densidad corporal por BODPOD

A partir de los valores corregidos de volumen corporal y masa corporal, se obtuvo la densidad corporal y se calculó el porcentaje de grasa corporal utilizando la ecuación de Siri (1961) y el software del equipo (Dempster y *col.*, 1995).

Bioimpedancia Eléctrica en posición horizontal mediante RJL e Impedimed.

La medición de BIE se realizó con los dispositivos RJL Quantum e Impedimed. Los participantes vistieron ropa libre de metales, sin haber realizado ejercicio extenuante al menos 12 horas antes de la práctica y haber realizado un ayuno de 2 horas mínimo (incluyendo agua). La superficie donde se realiza la medición debe de ser no conductora y lo suficientemente grande para que el sujeto separe sus brazos y piernas de su cuerpo. El participante debe quitarse el calzado, las calcetas, y recostarse en posición decúbito supino sin moverse al menos durante 5 minutos con el fin de homogenizar los fluidos corporales. Se limpiaron los sitios de colocación de los electrodos con alcohol para posteriormente colocar los electrodos en la posición adecuada en mano y pie. Una vez pasados los 5 minutos, se encendió el dispositivo y se anotaron los resultados de R y Xc (Lukaski y *col.*, 1986).

Bioimpedancia eléctrica en posición vertical mediante el mBCA. Antes de realizar la medición se corroboró que los participantes vistieran ropa libre de metales, sin haber realizado ejercicio extenuante 12 horas previas a la medición y haber realizado ayuno de 2 horas mínimo (incluyendo agua). El mBCA consiste en una plataforma con una báscula integrada, un barandal y el equipo de operación (Figura 7). El equipo utiliza cuatro pares de electrodos que están posicionados en cada mano y pie, con un electrodo en cada par a través del cual la corriente eléctrica entra al cuerpo y el otro electrodo detecta la caída de voltaje. La técnica de ocho electrodos permite medir la impedancia del brazo derecho, brazo izquierdo, el torso, pierna derecha, pierna izquierda y el lado derecho e izquierdo del cuerpo. Los pies se colocaron en la parte superior de los electrodos,

de modo que el talón toca el posterior más pequeño y el antepié toca el electrodo anterior más grande. Cada lado del barandal lleva seis electrodos, de los cuales dos son elegidos dependiendo de la altura de la persona, las manos tocan los electrodos de manera que el separador de éstos quede en medio del dedo medio y el anular. Los brazos deben tener un ángulo de 30 grados con respecto al cuerpo. El equipo automáticamente comienza con la medición cuando la persona está posicionada de manera correcta, tocando todos los electrodos (Bosy-Westphal y *col.*, 2013). La medición dura 75 segundos arrojando datos de R y Xc.



Figura 7. Bioimpedancia eléctrica en posición vertical (mBCA).

Índice de Masa Grasa e Índice de Masa Libre de Grasa. A partir de la composición corporal se derivaron el índice de masa libre de grasa (IMLG) [kg de MLG / longitud m²] y el índice de masa grasa (IMG) [kg de MG / longitud m²]. Se calculó la media y desviación estándar de estos índices para la construcción de un gráfico Hattori. Este análisis grafica el IMG en la ordenada y el IMLG en la abscisa; de tal forma, que la ubicación de cada sujeto se da por una coordenada específica. El análisis logra evaluar la confluencia entre la MG y la MLG, desagregando el IMC en sus dos principales componentes y estos siendo corregidos por la longitud (López-Jiménez y *col.*, 2015).

Análisis Estadísticos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico Number Cruncher Statistical Systems (NCSS 2008) y MedCalc (2008).

Previo al desarrollo de los algoritmos predictivos, se verificó la normalidad de la distribución de cada variable y las asociaciones entre las mismas.

Como variable dependiente se utilizó la MLG (kg) del modelo de 4C de Selinger 1977, a partir del ACT obtenida por el método de dilución con deuterio, la densidad corporal por medio del BODPOD y el CMO por DXA. Se utilizaron las variables independientes de índice de resistencia (T^2/R) y X_c obtenidas por el dispositivo mBCA, sexo (0, femenino y 1, masculino), edad (años) y peso (kg).

Para la selección del mejor modelo predictivo de la composición corporal, se aplicó el método de "Todas las Regresiones Posibles". Para identificar los subgrupos de variables se utilizó el coeficiente de Mallows (C_p), garantizando así el modelo menos sesgado y que corresponde al valor más cercano al número de parámetros de la ecuación (número de variables independientes más la constante).

Se utilizó el método de Regresión Lineal Múltiple para desarrollar la ecuación estimativa de la MLG. Previo al desarrollo del algoritmo, se verificó la normalidad de la distribución de la variable dependiente y las asociaciones entre las mismas.

Para la validación cruzada la muestra total de 60 voluntarios, se dividió aleatoriamente en 2 grupos de 29 y 31 participantes respectivamente. En el primer grupo se desarrolló la ecuación y en la otra mitad se probó para validar la ecuación resultante. Mediante el programa estadístico MedCalc, se utilizó el análisis de Bland & Altman con el fin de determinar de manera gráfica, el posible sesgo del algoritmo desarrollado. La precisión y exactitud de la ecuación se determinó por el análisis de regresión, comparando la variable estimada con la medida en función con la línea de identidad. Finalmente, se utilizó el coeficiente de correlación de concordancia (ρ_c) (Lawrence y *col.*, 1989) con el que evalúa el grado en que cada par de observaciones caen sobre la línea de identidad, este coeficiente contiene medidas de precisión (ρ) y de exactitud (C_b), donde, $\rho_c = (\rho \times C_b)$. Para el caso la “ ρ ” se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson; una medida de precisión que evalúa cómo cada punto se desvía de la línea estimada o línea de mejor ajuste. El C_b , es el factor de corrección de sesgo, que mide como la pendiente difiere de la línea de identidad, lo cual nos indica exactitud.

RESULTADOS

Para el análisis estadístico de la composición corporal de los sujetos, se hizo un proceso de limpieza de datos extremos y no fisiológicamente plausibles, eliminando de la base de datos a 4 participantes. Después de no encontrar posibles errores de registro, y aplicar medidas de control de calidad (Wells y col., 1999) se detectaron dos valores de agua corporal erróneos. También se encontró un valor extremo de reactancia y un valor atípico de un joven de 125 kg, los cuales fueron eliminados. De esta forma, se obtuvo una muestra final constituida por 60 jóvenes de Hermosillo, Sonora, de los cuales 31 fueron mujeres y 29 hombres, entre 10 y 18 años de edad.

Composición Corporal

En la Tabla II se muestran los promedios y desviaciones estándar de las características físicas y de composición corporal de los voluntarios. El peso promedio de los participantes fue de 54.5 kg, en un intervalo de 21.2 a 96.4 kg. La talla promedio para mujeres y hombres fue de 153 y 160 centímetros, respectivamente. El puntaje Z de IMC/Edad fue de 0.53 para las mujeres mientras que para los hombres fue de 0.87 colocando a ambos en la categoría de estado nutricional normal según la OMS (2007). La circunferencia de cintura y pliegue cutáneo tricípital fueron de 75.5 cm y 18.8 mm, respectivamente.

Los resultados de densidad (Db) obtenidos por el BODPOD fueron de 1.04 ± 0.021 . El ACT fue de 30.7 kg en hombres y de 24.9 kg en mujeres. El CMO fue de 1.65 ± 0.35 kg en mujeres y 1.81 ± 0.52 kg en hombres.

Teniendo como referencia la fórmula de 4C reportada por Selinger (1977), se obtuvo la MLG en kg que fue de 36.38 ± 7.72 kg en mujeres y 44.2 ± 12.5 kg en hombres. La grasa corporal en mujeres y hombres fue de 15.4 ± 8.5 y 13 ± 6.3 respectivamente.

Tabla II. Características antropométricas y de composición corporal en jóvenes de 10 – 18 años

| | Mujeres (n=31) Media \pm DE (Intervalo) | Hombres (n=29) Media \pm DE (Intervalo) | Todos (n=60) Media \pm DE (Intervalo) |
|--|--|--|--|
| Peso, kg | 51.2 \pm 15.1 (21.2 – 96.4) | 57.2 \pm 15.6 (33.4 – 87.3) | 54.5 \pm 15.5 (21.2 – 96.4) |
| Talla, cm | 153 \pm 8.9 (128 – 165) | 160 \pm 13.5 (134 – 184) | 156.4 \pm 11.9 (128 – 184) |
| IMC/Edad, Z | 0.53 \pm 1.35 (-2.7 – 3.4) | 0.87 \pm 1.30 (-2.15 – 2.91) | 0.7 \pm 1.32 (-2.7 – 3.4) |
| Cintura, cm | 74 \pm 11.6 (57.6 – 105) | 77.1 \pm 10.1 (61.3 – 96) | 75.5 \pm 10.9 (57.6 – 105) |
| PCT, mm | 21.1 \pm 8.3 (8 – 48.2) | 16.4 \pm 7.3 (6.2 – 28.7) | 18.8 \pm 8.1 (6.2 – 48.2) |
| D_b, kg/m³ | 1.03 \pm 0.018 (1 – 1.08) | 1.04 \pm 0.023 (1 – 1.09) | 1.04 \pm 0.021 (1 – 1.09) |
| ACT, kg | 24.9 \pm 5.3 (12.4 – 37.4) | 30.7 \pm 8.2 (18.5 – 44.9) | 27.7 \pm 7.4 (12.4 – 44.9) |
| CMO, kg | 1.65 \pm 0.35 (0.75 – 2.32) | 1.81 \pm 0.52 (1.094 – 2.63) | 1.73 \pm 0.45 (0.75 – 2.63) |
| MLG, kg | 36.38 \pm 7.72 (17.2 – 53.7) | 44.2 \pm 12.5 (26.2 – 66.2) | 40.2 \pm 10.9 (17.2 – 66.2) |
| MG, kg | 15.4 \pm 8.5 (3.3 – 42.7) | 13 \pm 6.3 (3.3 – 26.1) | 14.2 \pm 7.5 (3.3 – 42.7) |
| MG, % | 28.0 \pm 7.9 (9.32 – 44.3) | 22.5 \pm 9.1 (5.9 – 43) | 25.3 \pm 8.9 (5.9 – 44.3) |
| <p><i>IMC: Índice de Masa Corporal, D_b: Densidad Corporal, ACT: Agua Corporal Total, CMO: Contenido Mineral Óseo, MLG: Masa Libre de Grasa, MG: Masa Grasa, PCT: pliegue cutáneo tricipital.</i> <i>MG y MLG derivados de éstos mismos parámetros mediante la fórmula de 4C de Selinger, (1977).</i></p> | | | |

Desarrollo, Validación y Aplicación de Modelos Predictivos

Para el desarrollo del algoritmo predictivo de la MLG (kg) por BIE mediante el mBCA, la muestra total se dividió en 2 grupos; en el primero, se desarrolló el algoritmo de predicción y en el segundo se validó.

Se utilizó el método de “Todas las Regresiones Posibles” para seleccionar las mejores variables predictoras, tales como: índice de resistencia o IR ($Talla^2$ (cm) / Resistencia (Ω)), la reactancia (Ω) (X_c), el peso (kg), el sexo (femenino = 0; masculino = 1), y la edad expresada en meses.

Al generar la ecuación predictiva de la MLG para el mBCA, el IR fue el principal predictor de la MLG con casi 90% de la R^2 . En la Tabla III se muestran los resultados del análisis de regresión.

Con las variables seleccionadas, se creó un algoritmo de predicción de la MLG (kg) para el mBCA basado en el modelo de 4C:

$$MLG(kg) = [(0.2302 * Peso) + (0.8756 * IR) + (0.2123 * X_c) - 16.4806]$$

$$(R^2 = 0.978, \quad EE = 1.59)$$

Donde: $Peso(Kg)$; $IR(\Omega)$; $T^2(cm/R)$; $X_c(\Omega)$

Para destacar la funcionalidad de las ecuaciones de composición corporal publicadas en la literatura, en la Tabla IV se presenta un comparativo de la ecuación obtenida para el mBCA basada en un modelo de 4C y algunas reportadas en la literatura de 2C, que presentan población similar a la de éste estudio, observándose que la ecuación desarrollada para el mBCA presenta una R^2 más alta y un EE más bajo en relación a las demás.

Con relación al diagnóstico de la regresión, el modelo estuvo libre de colinealidad al no tener valores de inflación de la varianza (FIV) mayores de 10.

Tabla III. Análisis de regresión múltiple para determinar las variables asociadas a la MLG (n=30)

| Variable dependiente | Variable Independiente | β | P | R ² | EE |
|---|------------------------|----------|---------|----------------|------|
| MLG mBCA (kg) | Peso | 0.2302 | <0.0001 | 0.98 | 1.59 |
| | IR | 0.8756 | <0.0001 | | |
| | Xc | 0.2123 | <0.0001 | | |
| | Constante | -16.4806 | | | |
| <p><i>Abreviaturas:</i> MLG: Masa libre de grasa, IR: Índice de resistencia (resistencia, (ohm) /talla² (cm)), Xc: Reactancia, EE: Error Estándar del Estimador.</p> | | | | | |

Tabla IV. Ecuación de 4C obtenida y ecuaciones reportadas de 2C

| Ecuaciones | Modelo | R ² | EE |
|--|--------|----------------|-------------|
| $MLG_{kg} = [(0.2302 * \text{Peso}) + (0.8756 * (T^2/R)) + (0.2123 * Xc)] - 16.4806$ n= 30; 10 – 17 años Ecuación del presente estudio (mBCA) | 4C | 0.98 | 1.59 |
| $MLG_{kg} = 0.62 * (T^2/R) + 0.23 * \text{Peso} + 1.17$ n= 172 ; 5 – 14 años Rush et al. (2003) (Maoris PI y Europeos de NZ) | 2C | 0.96 | 2.44 |
| $MLG_{kg} = 0.81 * (T^2/R) + 6.86$ n= 20; 10 – 13 años Cordain et al. (1988) | 2C | 0.93 | 4.08 |
| $MLG_{kg} = [(0.69 * (T^2/R)) + (0.17 * \text{Peso}) + (0.02 * R)] + 9.5$ n= 1829 ; 12 – 94 años Sun et al. (2003) | 2C | 0.83 | 2.90 |

La MLG_{4C} expresada en kg, derivada de un modelo de cuatro compartimentos (Sellinger,1977) se obtuvo aplicando los métodos de pletismografía por desplazamiento de aire para el cálculo de la densidad corporal D_b , la dilución con deuterio para el cálculo del agua corporal total (ACT) y el DXA para obtener el contenido mineral óseo (CMO):

$$\text{Grasa}(\%) = \left(\frac{2.747}{D_b} - 0.714ACT + 1.146CMO - 2.0503 \right) * 100$$

Dónde: D_b = densidad corporal; ACT= agua corporal total como una fracción del peso corporal; CMO= mineral óseo como una fracción del peso corporal.

Para validar el algoritmo generado bajo los criterios de exactitud, precisión y sesgo, se realizó el análisis de Bland-Altman.

La Figura 8 que relaciona el promedio de los valores medidos (MLG_{4C}) así como el promedio de los valores predichos por la ecuación de BIE versus las diferencias entre los mismos. Se muestra que la distribución del error se comporta de manera uniforme y sin sesgo significativo con límites de concordancia entre -4.2 y 3.9 kg de MLG. La Figura 9, muestra la comparación de los valores de MLG_{4C} medidos (ordenada) y los predichos por BIE (abscisa). La línea de regresión interseca en el 0.06 (IC 95%: -2.67, + 2.79) lo que indica que no hubo diferencia con la línea de identidad (exactitud). Así mismo, la pendiente lo confirma con un valor 0.99 (IC 95%: 0.93, 1.06) no diferente de 1. La regresión mostró una $r_{\text{Pearson}} = 0.985$, lo cual indica buena precisión.

De esta manera, todos los indicadores estadísticos nos muestran que la ecuación obtenida en este estudio para estimar la MLG (kg) por BIE para el mBCA cumple con los requisitos de precisión y exactitud, así mismo libre de sesgo y colinealidad.

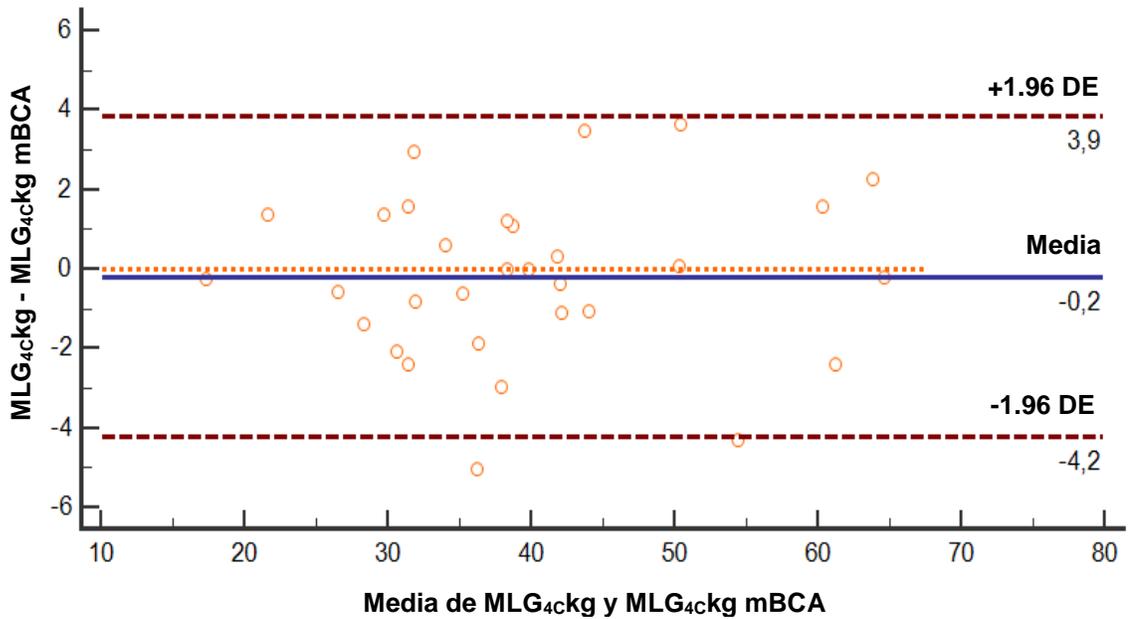


Figura 8. Análisis Bland-Altman de MLG por modelo 4 compartimientos medido y estimado por BIE.

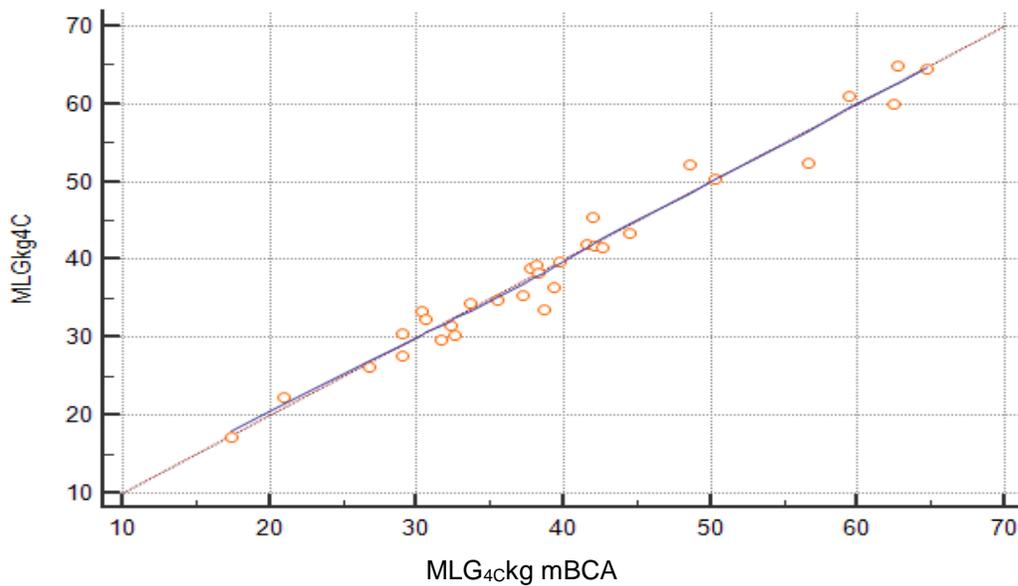


Figura 9. Línea de identidad, MLG 4C (kg) Medido vs MLG 4C (kg) estimado por BIE.

En la Tabla V se hace una comparación del porcentaje de grasa a partir de los métodos utilizados de 2 y 3C, comparado con la estimación por la ecuación del mBCA basada en el modelo de 4C y con la aplicación del modelo de Selinger también de 4C. La grasa corporal porcentual por densidad (D_b), el modelo de Selinger y el estimado por el mBCA (4C) no mostraron diferencias entre sí, con valores que fluctuaron entre 24.1 y 25.3%. Por otra parte, los porcentajes de grasa con modelos de 2C (DXA y Dilución), fueron más altos que los tres anteriores ($p < 0.0001$). No obstante el porcentaje de grasa del modelo de 3C ($D_b + ACT$) tuvo un valor intermedio.

Tabla V. Porcentaje de MG por 4C del mBCA a partir de los métodos de 2, 3 y 4 compartimentos utilizados en este estudio.

| Métodos | Modelo | Mujeres (n=31) | Hombres (n=29) | Todos (n=60) |
|--------------------------|--------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | | Grasa % | | |
| D _b | 2C | 26 ± 8.5 | 22.3 ± 10 | 24.1 ± 9.3 |
| Ecuación, mBCA | 4C | 28.6 ± 6.5 | 21.8 ± 7.7 | 25.3 ± 7.8 |
| D _b +CMO+ACT* | 4C | 28 ± 7.9 | 22.5 ± 9.1 | 25.3 ± 8.9 |
| D _b + ACT | 3C | 30.1 ± 7.6 | 24.9 ± 8.8 | 27.6 ± 8.5 |
| DXA | 3C | 33 ± 6.1 | 27 ± 7.3 | 30 ± 7.4 |
| D ₂ O | 2C | 34.9 ± 6.8 | 27.8 ± 8.1 | 31.5 ± 8.2 |

*Abreviaturas: D_b: Densidad, ACT: Agua Corporal Total, DXA: Absorciometría Dual de Rayos-X, CMO: Contenido Mineral Óseo, 4C: *Selinger 1977, 3C: Siri 1961. Media ± DE*

Efecto de la Posición Horizontal y Vertical en la Medición de los Parámetros de Bioimpedancia Eléctrica

En la Tabla VI se muestran los promedios y desviaciones estándar de los parámetros de BIE en los diferentes sistemas de bioimpedancia eléctrica en posición horizontal con los sistemas RJL e Impedimed y en posición vertical con el mBCA.

La resistencia fue similar en los sistemas de posición horizontal, RJL (621 Ω) e Impedimed (644 Ω), pero mayor en el sistema de posición vertical, mBCA, con una diferencia de 90 Ω ($p < 0.001$). La reactancia (X_c) no fue diferente en ninguno de los tres sistemas. La X_c corresponde aproximadamente sólo al 10 % del valor de Z , y la Z al igual que la resistencia fue más baja ($p < 0.001$) en los sistemas horizontales. El índice de resistencia, principal predictor individual del agua corporal total o de la masa libre de grasa, mostró una diferencia con los sistemas de posición horizontal en comparación con el sistema de medición vertical, mBCA ($p < 0.005$).

Comparación de la Composición Corporal Validada en el mBCA con los Sistemas Horizontales de BIE con el RJL e Impedimed

La Tabla VI muestra que los principales parámetros de BIE, Z , R e IR (T^2/R) medidos en posición horizontal (Impedimed y RJL) fueron significativamente distintos a cuando se midieron con el mBCA en posición vertical ($p < 0.0001 - 0.005$).

Sin embargo, al evaluar la composición corporal derivada de estos parámetros o predictores (Figura 10 y 11), no se observaron diferencias significativas en la masa libre de grasa ni en la masa grasa. Hay que enfatizar que para el mBCA los resultados provienen de un algoritmo específico donde esos parámetros se midieron en posición vertical. Para el caso de los las unidades de BIE horizontal se usaron los parámetros medidos en posición horizontal y

algoritmos específicos derivados de mediciones en esta misma posición en jóvenes del mismo intervalo de edad, ambos sexos. Este algoritmo fue validado (Valencia ME, 2017, comunicación personal: Coordinated Research Project, Res. Contract 14113, IAEA, Vienna, 2009) con el método de dilución con deuterio.

Tabla VI. Valores de bioimpedancia utilizados como predictores del agua corporal total y la MLG en los sistemas de BIE horizontales (RJL e Impedimed) y vertical (mBCA).

| Variables | Horizontal | | Vertical | P |
|--------------------------------|--|--|--|-------|
| | RJL | Impedimed | mBCA | |
| R, Ω | 621 ^a \pm 89 (464 – 870) | 644 ^a \pm 94 (466 – 905) | 722 ^b \pm 98 (561 – 974) | 0.001 |
| Xc, Ω | 62 ^a \pm 7 (47 – 79) | 63 ^a \pm 8 (44 – 84) | 63 ^a \pm 6.6 (47 – 78) | 0.767 |
| IR (T²/R) | 41 ^a \pm 11 (20 – 68) | 40 ^a \pm 11 (19 – 68) | 35 ^b \pm 9 (17 – 57) | 0.005 |
| Z, Ω | 624 ^a \pm 89 (467 – 873) | 647 ^a \pm 94 (471 – 907) | 725 ^b \pm 98 (565 – 976) | 0.001 |

*Comparación de medias mediante ANOVA de una vía; y prueba Tukey (p<0.05). Medias con diferentes superíndices son distintas (p<0.05).
Abreviaturas: R: Resistencia, Xc: Reactancia, IR: Índice de Resistencia, Z: Impedancia. Media \pm DE (intervalo: mínimo, máximo).*

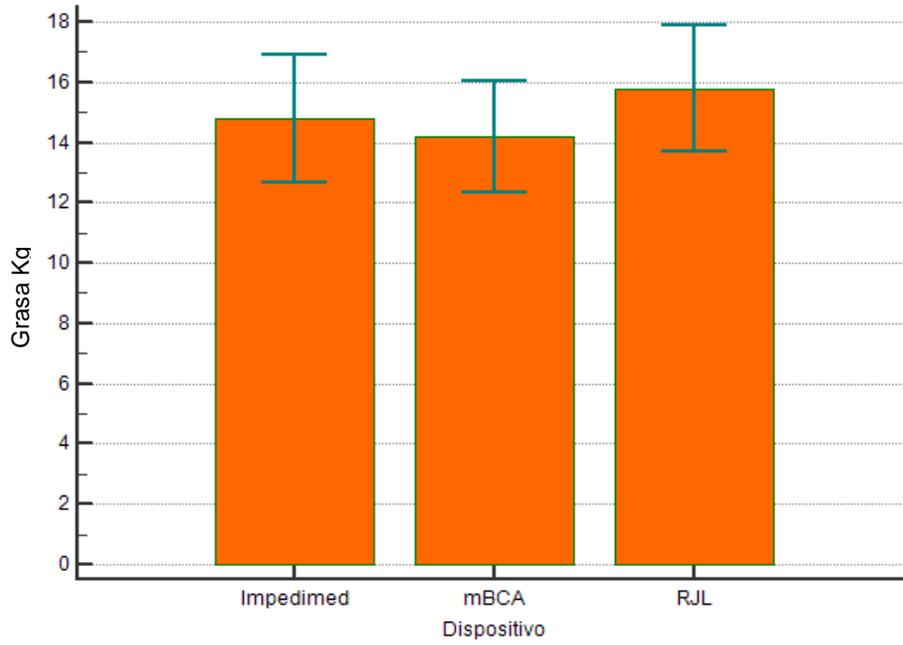


Figura 10. Grasa corporal (kg) obtenida por los 3 sistemas de BIE

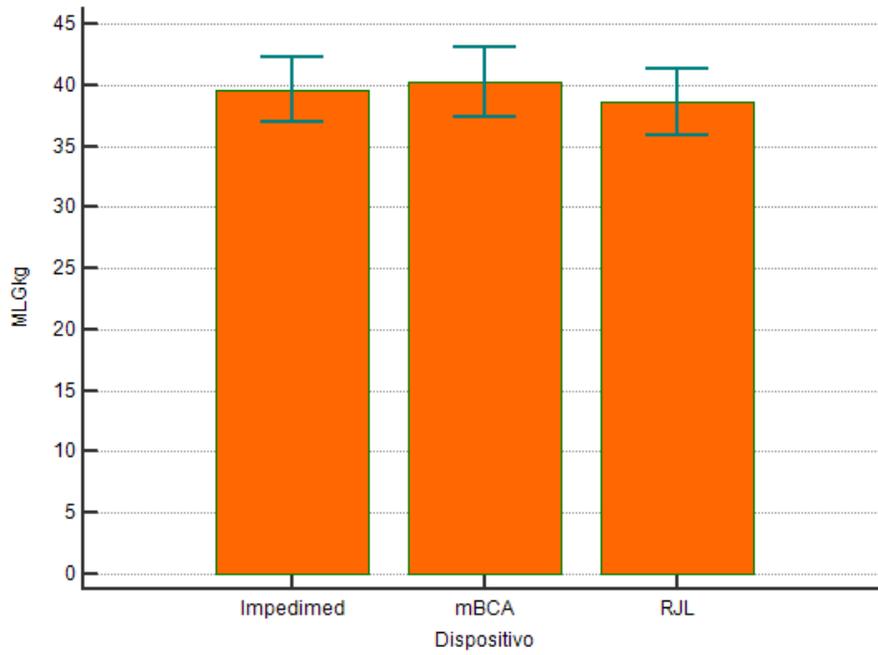


Figura 11. Masa Libre de Grasa (kg) obtenida por los 3 sistemas de BIE.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las mediciones antropométricas revelan que la talla, peso y puntaje Z-IMC fue más elevado en los hombres que en las mujeres.

La BIE en posición horizontal ha sido por mucho tiempo un método estimativo para obtener el ACT y a partir de esto, derivar la MG y MLG. Sin embargo, con el paso del tiempo han ido apareciendo nuevas alternativas al posicionamiento horizontal debido a que bajo ciertas circunstancias, es difícil realizar su medición. En la práctica, los voluntarios pueden presentar dificultades para recostarse en el suelo o alguna plataforma elevada; tampoco es fácil físicamente mantenerse en posición estática, levantarse del suelo si tienen problemas en articulaciones, si presentan edad avanzada, en caso de tener sobrepeso o tener problemas respiratorios (Rush y *col.*, 2006).

En el desarrollo del modelo de predicción de composición corporal para el mBCA, el IR fue el principal predictor de la MLG (90%) al igual que otros estudios reportados (Kushner, 1992; Rush, Puniani, Valencia, Davies, & Plank, 2003). Otra de las variables incluidas en el modelo fue la Xc, ya que como se ha visto en otros estudios, ésta ha sido esencial en casos donde se tiene una muestra con grandes variaciones de edad o masa corporal (Kyle et al., 2001). La reactancia o Xc contribuyó con un 21.2% de la variabilidad explicada de la MLG en esta ecuación.

La composición de la MLG puede verse afectada por el estadio puberal de maduración. En éste estudio, no se midió el estado de desarrollo puberal, sin embargo, no se tiene conocimiento de ningún estudio publicado en adolescentes sanos donde se haya incluido el estado puberal como una variable predictora o de ajuste en las ecuaciones de predicción de algún componente de la composición corporal. Horlick y *col.* (2002), utilizó el estadio de Tanner para un grupo multiétnico de 4-18 años de edad con VIH, concluyendo que el estadio de maduración sexual no fue un factor influyente en la predicción de la composición

corporal. En otro estudio realizado por el equipo de trabajo (Valencia y col, 2017) el estadio de Tanner no entró en la ecuación predictiva de la MLG, por lo que no se consideró en este estudio.

En el proceso de validación interna no hubo diferencias significativas en la MLG estimada por la ecuación y la medida por 4C. Esta nueva ecuación para el mBCA, equipo de medición en posición vertical de multifrecuencia y que mide también la resistencia y reactancia a 50 kHz, fue similar que la ecuación de adultos que internamente utiliza el mBCA para estimar la composición corporal. Para el caso de la MLG en el mBCA, Bosity-Westphal y col. (2013), reportaron para el algoritmo desarrollado y usado internamente, una R^2 de 0.98 y un error estándar de estimador de 1.9 kg, comparado con el obtenido en la ecuación de este estudio en jóvenes para el mBCA, con una R^2 de 0.98 y un error estándar de 1.59 kg. Cabe mencionar que la ecuación de 4C desarrollada para el mBCA se sometió al proceso de validación cruzada y mostró no tener sesgo significativo, ser precisa y exacta de acuerdo al análisis de Bland y Altman, además de no tener colinealidad.

Esta ecuación de jóvenes con modelo de 4C contrasta con otras ecuaciones en jóvenes de edad similar aunque en modelos de 2C y con R^2 menores y con mayores errores estándar del estimador.

La influencia inmediata de la posición del cuerpo sobre las mediciones de bioimpedancia ya se había reconocido hace años por Kushner y col. (1996). En este sentido, los resultados de Z y R por los distintos dispositivos de BIE, muestran una diferencia entre el mBCA y los equipos en posición horizontal. El mBCA registró los valores más altos. Esto es similar a lo reportado en un estudio realizado por Fenech y col. (2004), en el cual señalan que utilizando la bioimpedancia multifrecuencia de mano a pie y segmentaria, se ha demostrado que los cambios en la posición corporal dan lugar a cambios de resistencia. La mejor explicación de los cambios en la resistencia es el cambio de fluido hidrostático. Rush y col. (2006) menciona que el estar de pie conduce a una

reducción rápida del volumen plasmático en la parte inferior de las piernas y brazos, ya que al ponerse de pie, las presiones hidrostáticas elevadas en las extremidades desplazan el líquido desde el compartimento sanguíneo hacia el intersticio y el retorno venoso se reduce.

Un estudio previo señaló que la resistencia en posición vertical pudiese ser comparable con las mediciones de resistencia en posición horizontal al multiplicarlo por 2.3% (Leman, Adeyemo, Schoeller, Cooper y Luke, 2003). En otro estudio en personas de edad avanzada, Freitas y col. (2005) observaron y sugirieron que la medición de la bioimpedancia en posición vertical, con un ajuste adecuado, puede ser una buena alternativa a la posición horizontal.

Por otra parte no hubo diferencia del porcentaje de grasa obtenido por los sistemas de bioimpedancia eléctrica en posición horizontal (RJL e Impedimed) con el de posición vertical. La fórmula utilizada para los equipos RJL e Impedimed (en proceso de publicación) fue distinta a la utilizada para el dispositivo mBCA. En otro estudio realizado por el equipo de trabajo (Valencia et al, 2017: comunicación personal) los resultados demuestran que los algoritmos específicos de posiciones horizontales y verticales no son intercambiables. Lo cual justifica el desarrollo de ecuaciones específicas no sólo en cuanto a edad, sexo y grupos étnicos, sino también de acuerdo a los principios físicos de los instrumentos en relación a la posición en que se hacen las mediciones.

Actualmente, existen ecuaciones de composición corporal para estimar los porcentajes de grasa o MLG en distintos grupos de edades con diferentes sistemas de BIE. Sin embargo, la ecuación obtenida en este estudio es la primera formulada para el mBCA en población menor de edad (10 – 18 años).

Aunque este algoritmo se obtuvo en jóvenes mexicanos, es probablemente factible que pueda utilizarse en poblaciones similares. Un estudio nacional hecho en México (Ramírez y col., 2009), demostró que en niños y adolescentes mexicanos, el factor etnicidad (indígenas y mestizos) no fue variable

de influencia en el resultado de la ecuación, de tal manera que puede usarse indistintamente en los dos grupos.

CONCLUSIONES

La validación de los modelos de 2C permite el desarrollo de ecuaciones para predecir la MLG y el ACT con el empleo de técnicas más sencillas y rápidas como el método de BIE.

Tradicionalmente, la BIE ha sido utilizada en posición horizontal. Sin embargo, con el paso del tiempo han ido apareciendo nuevas alternativas al posicionamiento horizontal, tal es el caso del mBCA, debido a que bajo ciertas circunstancias, es difícil realizar su medición.

Debido a las diferencias en los parámetros de BIE obtenidos de los sistemas en posición horizontal y vertical, se desarrolló un algoritmo predictivo para el mBCA el cual se sometió al proceso de validación cruzada mediante el análisis de Bland y Altman, cumpliendo con los requisitos de precisión, exactitud, libre de sesgo y colinealidad.

La ecuación resultante es comparable con la ecuación interna del mBCA al momento de estimar la composición corporal y es una mejor predictora en edad que otras similares reportadas en la literatura.

Por lo cual, se concluye que el mBCA es una herramienta válida para estimar la composición corporal en jóvenes de 10 a 18 años de edad aplicando la ecuación de predicción generada para este dispositivo.

REFERENCIAS

- Adams, J. (1998). Single-and dual-energy: X-ray absorptiometry Bone densitometry and osteoporosis (pp. 305-334): *Springer*.
- Aleman-Mateo, H., Huerta, R., Esparza-Romero, J., Mendez, R., Urquidez, R., & Valencia, M. (2007). Body composition by the four-compartment model: validity of the BOD POD for assessing body fat in Mexican elderly. *Eur J Clin Nutr.* 61(7), 830-836.
- Alvero-Cruz, J., Gómez, L. C., Ronconi, M., Vázquez, R. F., & i Manzanido, J. P. (2011). La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal: normas prácticas de utilización.
- Behnke, A. R., Feen, B., & Welham, W. (1942). The specific gravity of healthy men: body weight÷ volume as an index of obesity. *JAMA.* 118(7), 495-498.
- Bellisari, A., & Roche, A. (2007). Antropometría y ecografía. Composición corporal. 2ª ed. México: *McGraw Hill*, 109-139.
- Blake, G. M., Naeem, M., & Boutros, M. (2006). Comparison of effective dose to children and adults from dual X-ray absorptiometry examinations. *Bone.* 38(6), 935-942.
- Bosy-Westphal, A., Schautz, B., Later, W., Kehayias, J., Gallagher, D., & Müller, M. (2013). What makes a BIA equation unique? Validity of eight-electrode multifrequency BIA to estimate body composition in a healthy adult population. *Eur J Clin Nutr.* 67, S14-S21.
- Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci.* 110(1), 113-140.
- Clarys, J., Martin, A., & Drinkwater, D. (1984). Gross tissue masses in adult humans: data from 25 dissections. *Hum. Biol.* 56(3), 459-473.
- Cummings, S. R., Bates, D., & Black, D. M. (2002). Clinical use of bone densitometry: scientific review. *JAMA.* 288(15), 1889-1897.

- Dempster, P., & Aitkens, S. (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 27(12), 1692-1697.
- Deurenberg, P., Smit, H., & Kusters, C. (1989). Is the bioelectrical impedance method suitable for epidemiological field studies?. *Eur J Clin Nutr.* 43(9), 647-654.
- Ellis, K. J. (2000). Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev.* 80(2), 649-680.
- Fenech, M., & Jaffrin, M. Y. (2004). Extracellular and intracellular volume variations during postural change measured by segmental and wrist-ankle bioimpedance spectroscopy. *IEEE T BIO-MED ENG.* 51(1), 166-175.
- Fields, D. A., Goran, M. I., & McCrory, M. A. (2002). Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr.* 75(3), 453-467.
- Folin, O. (1905). Laws governing the chemical composition of urine. *American J Physiol--Legacy Content*, 13(1), 66-115.
- Freitas, I. F., Rush, E., Kolt, G. S., & Luke, A. (2005). An alternative way of measuring hand-to-foot single frequency bioimpedance. *Int J Body Compos Res.*
- Genant, H. K., Grampp, S., Glüer, C. C., Faulkner, K. G., Jergas, M., Engelke, K., . . . van Kuijk, C. (1994). Universal standardization for dual X-ray absorptiometry: patient and phantom cross-calibration results. *JBMR.* 9(10), 1503-1514.
- Gibson, R. S. (2005). *Principles of nutritional assessment: Oxford university press, USA.*
- Hannan, W., Cowen, S., Fearon, K., Plester, C., Falconer, J., & Richardson, R. (1994). Evaluation of multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. (London, England: 1979), *Clin Sci.* 86(4), 479-485.

- Hannan, W., Cowen, S., Plester, C., Fearon, K., & DeBeau, A. (1995). Comparison of bio-impedance spectroscopy and multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci*. 89(6), 651-658.
- Hattori, K., Tatsumi, N., & Tanaka, S. (1997). Assessment of body composition by using a new chart method. *Am J Hum Biol*. 9(5), 573-578.
- Heymsfield, S. B., Wang, Z., Visser, M., Gallagher, D., & Pierson, R. (1996). Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr*. 64(3), 478S-484S.
- Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C. (1969). Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *Eur J Appl Physiol*. 27(4), 531-534.
- Horlick, M., Arpadi, S. M., Bethel, J., Wang, J., Moye, J., Cuff, P., . . . Kotler, D. (2002). Bioelectrical impedance analysis models for prediction of total body water and fat-free mass in healthy and HIV-infected children and adolescents. *Am J Clin Nutr*. 76(5), 991-999.
- IAEA. (2009). Assessment of Body Composition and Total Energy Expenditure in Humans Using Stable Isotope Techniques. Vienna: *INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY*.
- IAEA. (2011a). Dual Energy X Ray Absorptiometry for Bone Mineral Density and Body Composition Assessment. Vienna: *INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY*.
- IAEA. (2011b). Introduction to Body Composition Assessment Using the Deuterium Dilution Technique with Analysis of Saliva Samples by Fourier Transform Infrared Spectrometry. Vienna: *INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY*.
- Kushner, R. F. (1992). Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *Am J Clin Nutr*. 11(2), 199-209.

- Kushner, R. F., Gudivaka, R., & Schoeller, D. A. (1996). Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr.* 64(3), 423S-427S.
- Kyle, U. G., Genton, L., Karsegard, L., Slosman, D. O., & Pichard, C. (2001). Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–94 years. *Nutrition.* 17(3), 248-253.
- Lawrence, I., & Lin, K. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics.* 255-268.
- Lohman, T. (1986). 11 Applicability of Body Composition Techniques and Constants for Children and Youths. *Exerc Sport Sci Rev.* 14(1), 325-358.
- Lohman, T. G. (1992). Advances in body composition assessment: *Human Kinetics Publishers.*
- Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: *Human Kinetics Books.*
- López-Jiménez, C. A., Villegas-Valle, R. C., Antunez-Roman, L. E., Monreal-Barraza, B. I., Robles-Valenzuela, E. L., Sotelo-Cruz, N., . . . Valencia, M. E. (2015). Composición Corporal de Lactantes Menores de un Año: Una Aplicación de los Índices de Masa Grasa y Masa Libre de Grasa. *Bol Clín Hosp Infant Edo Son.* 32(1), 16-21.
- Lorente Ramos, R. M., Azpeitia Armán, J., Arévalo Galeano, N., Muñoz Hernández, A., García Gómez, J. M., & Gredilla Molinero, J. (2012). Absorciometría con rayos X de doble energía. Fundamentos, metodología y aplicaciones clínicas. [10.1016/j.rx.2011.09.023]. *Radiología,* 54(5), 410-423. doi: 10.1016/j.rx.2011.09.023
- Lukaski, H. C. (1987). Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr.* 46(4), 537-556.
- Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B., & Siders, W. A. (1986). Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *Eur J Appl Physiol.* 60(4), 1327-1332.

- Marfell-Jones, M. J., Stewart, A., & de Ridder, J. (2012). *International standards for anthropometric assessment*.
- Mast, M., Sönnichsen, A., Langnäse, K., Labitzke, K., Bruse, U., Preuß, U., & Müller, M. (2002). Inconsistencies in bioelectrical impedance and anthropometric measurements of fat mass in a field study of prepubertal children. *Br J Nutr.* 87(02), 163-175.
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical anthropology. *Am Phys. Anth*, 4, 223-230.
- Mattsson, S., & Thomas, B. J. (2006). Development of methods for body composition studies. *Phys Med Biol.* 51(13), R203.
- Obesity-Preventing, W. Managing the Global Epidemic. *Report of a WHO Consultation on Obesity Geneva*, 1(997), 9.
- OMS. (2007). Anthro plus for personal computers: software for assessing growth and development of the world's children: *Geneva: WHO*.
- Petroni, M., Bertoli, S., Maggioni, M., Morini, P., Battezzati, A., Tagliaferri, M., . . . Testolin, G. (2003). Feasibility of air plethysmography (BOD POD) in morbid obesity: a pilot study. *Acta Diabetol.* 40(1), s59-s62.
- Pietrobelli, A., & Tatò, L. (2005). Body composition measurements: from the past to the future. *Acta Paediatr.* 94(s448), 8-13.
- Plank, L. D. (2005). Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Met Care.* 8(3), 305-309.
- Ramírez, E., Valencia, M. E., Moya-Camarena, S. Y., Alemán-Mateo, H., & Méndez, R. O. (2009). Four-compartment model and validation of deuterium dilution technique to estimate fat-free mass in Mexican youth. *J Nutr.* 25(2), 194-199.
- Ramírez López, E., & Juillerat, M. E. V. (2008). Tamaño y composición corporal en niños mexicanos i: implicaciones en el uso del bod pod, dxa y dilución con deuterio en la evaluación de la masa grasa y masa libre de grasa. *RESPYN.* 9(3).

- Rush, E., Crowley, J., Freitas, I. F., & Luke, A. (2006). Validity of Hand-to-Foot measurement of bioimpedance: Standing compared with lying position. *J Obes.* 14(2), 252-257.
- Schaefer, F., Georgi, M., Zieger, A., & Schärer, K. (1994). Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children. *Pediatr Res.* 35(5), 617-624.
- Schultz, S. G. (2002). William Harvey and the circulation of the blood: the birth of a scientific revolution and modern physiology. *Physiology.* 17(5), 175-180.
- Serrano, M. M., Beneit, M. S., Santurino, M. M., Armesilla, M. C., de Espinosa, M. G.-M., & del Cerro, J. P. (2007). Técnicas analíticas en el estudio de la composición corporal. *Antropometría frente a sistemas de bioimpedancia bipolar y tetrapolar. Nutr Clín y Diet Hosp.* 27(3), 11-19.
- Shen, W., St-Onge, M., Wang, Z., & Heymsfield, S. (2007). Estudio de la composición corporal: generalidades. *Composición Corporal*, 3-14.
- Siri, W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition*, 61, 223-244.
- Slinde, F., Bark, A., Jansson, J., & Rossander-Hulthén, L. (2003). Bioelectrical impedance variation in healthy subjects during 12 h in the supine position. *Clin Nutr.* 22(2), 153-157.
- Velasco-Lavín, M. d. R. (2016). La desnutrición y la obesidad: dos problemas de salud que coexisten en México. *Revista Mexicana de Pediatría*, 83(1), 5-6.
- Wang, Z., Shen, W., Withers, R., & Heymsfield, S. (2005). Human body composition. *J Hum Kinet.*
- Weber, D. R., Leonard, M. B., & Zemel, B. S. (2012). Body composition analysis in the pediatric population. *PER.* 10(1), 130.
- Wells, J. C., Fuller, N. J., Dewit, O., Fewtrell, M. S., Elia, M., & Cole, T. J. (1999). Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr.* 69(5), 904-912.

Withers, R. T., Laforgia, J., & Heymsfield, S. (1999). Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models. *Am J Hum Biol.* 11(2), 175-185.

APÉNDICES

Apéndice 1

Aprobación del Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud.



Universidad de Sonora
Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud
Comité de Bioética en Investigación
Reg. CONBIOÉTICA 2863/00420540214 Reg. COFEPRIS 11330153860337
HH-5-98-0008685



DMCS/CBDMCS/D-81

Hermosillo, Sonora a 11 de Abril de 2016

Dr. Norberto Sotelo Cruz
Jefe del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud
Universidad de Sonora

En respuesta a la solicitud de evaluación bioética a la notificación de cambios administrativos al proyecto de investigación "Composición corporal en sujetos de 10 a 18 años por bioimpedancia eléctrica mediante el mBCA y su validación por métodos de referencia", del Dr. Mauro E. Valencia Jullerat, profesor adscrito al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de Sonora, el Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud emite el siguiente:

DICTAMEN FAVORABLE

El Comité considera que hay elementos suficientes para que el citado proyecto sea ejecutado en los tiempos que la investigadora responsable ha señalado. El Comité también considera que el proyecto tiene la categoría de **Investigación de Riesgo Mínimo**, toda vez que ha cumplido satisfactoriamente con los requerimientos bioéticos necesarios. Le agradeceremos que informe semestralmente a este Comité acerca del desarrollo del proyecto respecto a los aspectos bioéticos contemplados en el mismo.

Cordialmente
Por el Comité de Bioética en Investigación


Dr. Gerardo Álvarez Hernández
Presidente



"El saber de más bien
hazá mi granjería"
DEPARTAMENTO DE
MEDICINA Y CIENCIAS
DE LA SALUD
COMITÉ DE BIOÉTICA
EN INVESTIGACIÓN

U.S.A. Comisión Institucional de Bioética e Investigación, Universidad de Sonora
C.C.S. Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora
C.O.P. Expediente/Comité de Bioética en Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora

Apéndice 2

Formato de consentimiento Informado para padres de familia

Formato de Consentimiento Informado

1. Título del proyecto:

Composición corporal en sujetos de 10 a 18 años por bioimpedancia eléctrica mediante el mBCA y su validación por métodos de referencia.

2. Equipo de investigadores:

Investigador responsable Dr. Mauro E. Valencia, Dr. Giovanni Díaz, M.C. Lesley Antúnez Román, M.C. Alma E. Robles Sardín, L.C.N. Jaquelyn Aguilar T.

3. Introducción/propósitos:

Existen diferentes herramientas y metodologías para medir la composición corporal en un entorno clínico y de campo. Las técnicas clínicas más usuales incluyen: la hidrodensitometría, la pletismografía por desplazamiento de aire y la absorciometría dual de rayos X; las correspondientes técnicas de campo utilizan comúnmente el análisis de impedancia bioeléctrica (BIA) y la antropometría.

La impedancia bioeléctrica (BIA) es una técnica simple, rápida y no invasiva para estimar la composición corporal. Avances en la tecnología han desarrollado un nuevo dispositivo llamado Medical Body Composition Analyzer (mBCA).

Actualmente este método se ha validado en sujetos de 18 a 65 años con los sistemas de referencia. Sin embargo no existe información sobre su utilización en menores de 18 años.

Se reconoce que esta técnica, cuando es validada mediante procedimientos estadísticos adecuados y basados en métodos de referencia, es una opción

alternativa y práctica para su aplicación en los campos clínicos y de terreno. En especial, la evaluación de la composición corporal por BIA genera modelos de mejor predictibilidad y menores errores en la predicción.

El objetivo de este estudio es determinar la composición corporal en sujetos de 10 a 18 años por bioimpedancia eléctrica en posición vertical con el mBCA validado por métodos de referencia.

4. Procedimientos/intervenciones que se llevarán a cabo:

Nombre de la persona a evaluar:

—

Declaración.

Entiendo que éste estudio requerirá mi participación activa aproximadamente durante 4 horas, dentro de las cuales se harán distintas pruebas para medir su composición corporal con diferentes instrumentos.

Mediciones a realizar:

Participante:

- Se tomará el peso con una báscula OHAUS Mod. 300.
- La estatura será medida con un estadiómetro marca Holtain Ltd.
- Circunferencia de cintura. Para realizar esta medición se descubrirá la cintura hasta donde se encuentra localizada la cicatriz umbilical y será medida con una cinta métrica de fibra de vidrio.
- Medición del espesor o pliegue cutáneo tricípital en el brazo izquierdo para estimar la grasa corporal en la parte superior del cuerpo. Se utilizará instrumento de marca *Harpenden*.

- Se medirá la resistividad del cuerpo a una pequeña corriente eléctrica imperceptible inducida por un equipo con baterías (Bioimpedancia Eléctrica; BIA) que sirve para estimar el agua corporal. Se utilizarán los equipos RJL Quantum X e Impedimed colocando dos electrodos en la muñeca y dos en el pie derecho. Así mismo se utilizará el equipo mBCA en posición vertical.
- Para la medición del volumen y la grasa corporal se introducirá al voluntario en un equipo ventilado con aire llamada BODPOD. Para la medición se requiere que el voluntario use ropa ajustada.
- Medición de masa ósea y distribución de la grasa y masa magra del cuerpo, por medio de DXA o absorciometría dual de rayos x (de baja intensidad). Esta medición es equivalente a medio día de exposición a la radiación solar al nivel del mar o equivalente a la décima parte de una radiografía de tórax.
- Para la medición de agua corporal se realizará dilución con óxido de deuterio. Esta técnica consiste en ingerir una pequeña cantidad de óxido de deuterio (30g). Se tomarán muestras de su saliva antes de la toma y después de 2, 3 y 4 horas. La ingesta de este compuesto no modifica ningún aspecto de la vida diaria. Solamente durante las primeras 3 horas después de la toma se tratará de evitar consumir alimento.

5. Riesgos/incomodidades que puede experimentar el sujeto

- El uso de ropa ajustada puede producir incomodidad en algunas personas, esto al realizar la medición en el equipo BODPOD.
- La medición del pliegue cutáneo tricípital y la circunferencia de cintura pudiera producir incomodidad para algunas personas. Para el caso de la medición de la cintura, se puede dar como alternativa medirla por encima de la ropa.
- Todos los equipos a utilizar, han sido aprobadas por comités de ética a nivel internacional en población pediátrica, adultos, adultos mayores, donde la única excepción son las mujeres embarazadas.

- Ninguna de las mediciones representa un riesgo de salud para los participantes más allá de lo previamente explicado.

6. Beneficios previsible para el participante: Conocer su composición corporal, el contenido de masa libre de grasa y masa grasa, así como sus implicaciones sobre el estado de salud actual.

Este estudio proveerá a los adolescentes y jóvenes adultos el conocimiento sobre su composición corporal actual. De acuerdo a los resultados, los nutriólogos del laboratorio, podrán hacer recomendaciones generales de alimentación saludable y buenos hábitos de estilo de vida.

7. Beneficios previsible para la ciencia: Este estudio permitirá expandir el conocimiento de la composición corporal con el mBCA en sujetos de 10 a 18 años, en donde no hay información con este equipo para poderles brindar una mejor atención nutricional.

Compensación: Los resultados serán entregados a nivel individual y sin costo alguno.

8. Confidencialidad de la información: Los datos proporcionados por el participante, así como los resultados obtenidos serán almacenados con la más estricta confidencialidad, con su respectiva clave numérica y resguardados bajo llave.

Con el mismo carácter de confidencialidad, los datos crudos, podrán usarse en análisis posteriores junto con los de otros estudios, guardando su carácter de confidencialidad.

- 9. Problemas o preguntas:** El participante tiene derecho a preguntar sobre cualquier aspecto relacionado con la investigación, *así como de retirarse en cualquier momento, si así lo desea.*

Para cualquier duda o pregunta que usted tenga, puede comunicarse a los siguientes teléfonos:

| Investigador | Teléfono oficina | Teléfono celular |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Investigador responsable: Dr. Mauro E. Valencia | 2 59 21 21 | 66 21 11 07 86 |
| Dr. Giovanni Díaz Zavala | 2 89 37 93 | |
| M.C. Lesley Antúnez Román | 2 59 21 21 | 66 21 40 01 39 |
| M.C. Alma E. Robles Sardín | 2 89 24 00 | 66 23 38 82 41 |
| L.C.N. Jaquelyn Aguilar Troncoso | 2 59 21 21 | 66 29 34 84 98 |

10. Consentimiento/participación voluntaria

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por medio de este formato de consentimiento declaro que se me han explicado claramente los objetivos y mediciones de esta investigación, así como los beneficios que conlleva mi participación.

Entiendo que los procedimientos a utilizar, no representan incomodidades ni riesgos para mi salud, más allá de lo explicado anteriormente.

Así mismo, acepto voluntariamente y me doy por enterado(a) de los procedimientos y análisis que se realizarán en este estudio.

- Medición de peso, talla, pliegue tricípital y circunferencia de cintura.
- Medición del volumen corporal y estimación de la grasa corporal en base a la densidad del cuerpo
- Medición del agua corporal total
- Medición de bioimpedancia eléctrica

Reconozco que tengo el derecho a retirarme del estudio en cualquier momento, si así lo deseo.

Fecha de aceptación: _____ / _____ / _____ / _____
Día Mes Año Hora

Nombre del voluntario: _____

Firma de autorización: _____

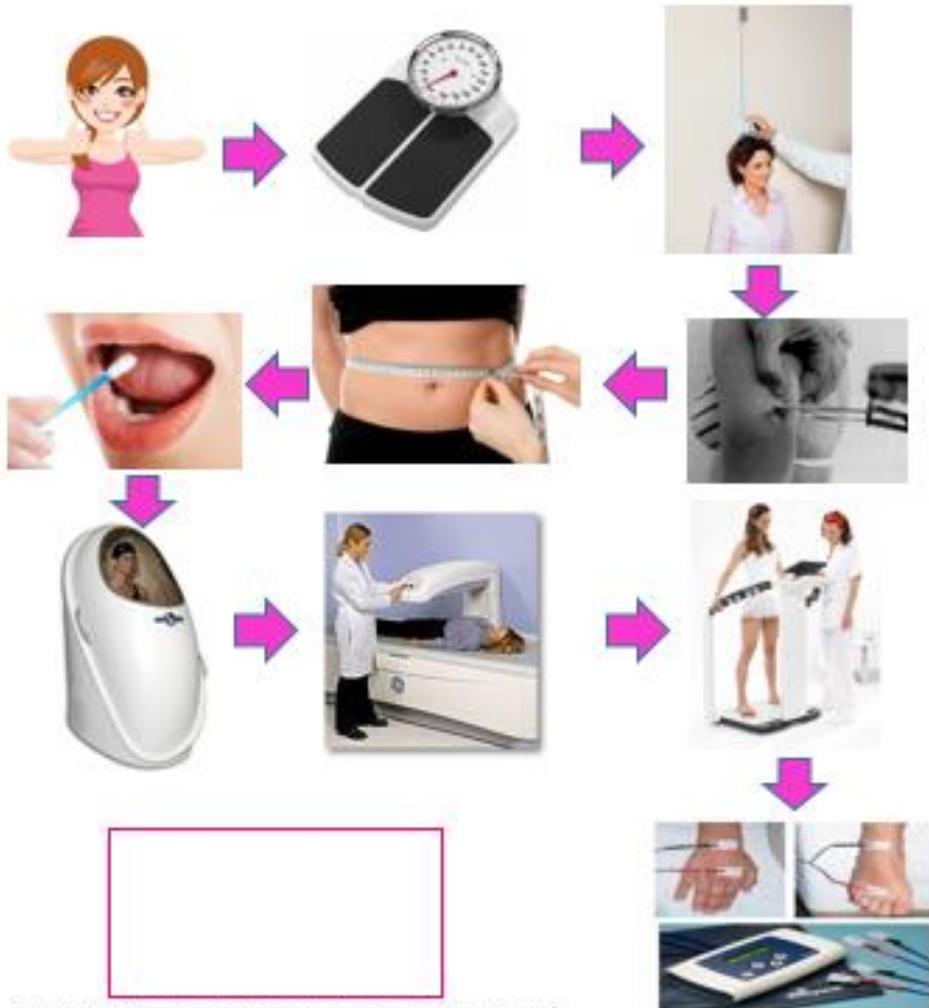
Apéndice 3

Formato de asentimiento Informado para mujeres.



ASENTIMIENTO INFORMADO PARA JÓVENES

Escribe tu nombre:



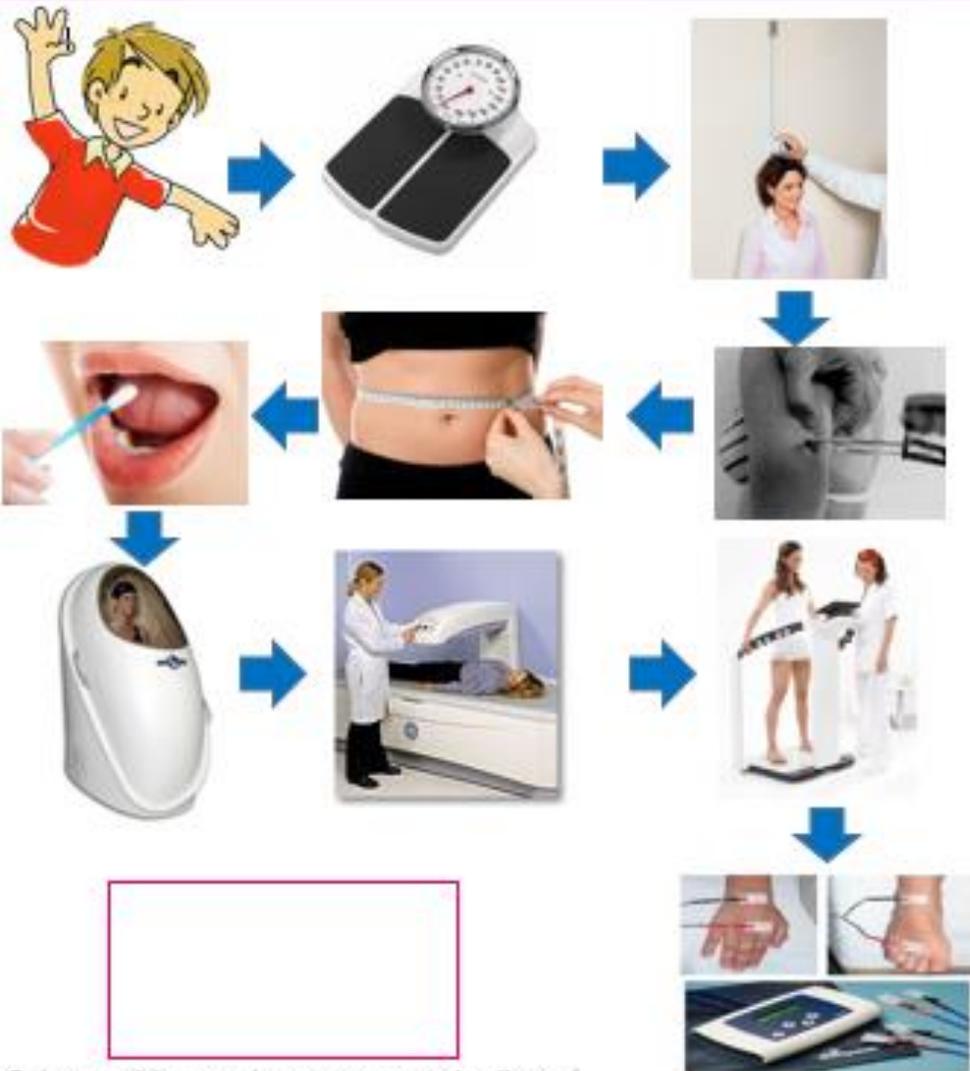
Apéndice 4

Formato de asentimiento Informado para hombres.



ASENTIMIENTO INFORMADO PARA JÓVENES

Escribe tu nombre:



Apéndice 5

Formato de captura de datos



Universidad de Sonora
 Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud
 Proyecto de Investigación
Composición corporal en sujetos de 10 a 18 años por bioimpedancia eléctrica mediante el mBCA y su validación por métodos de referencia



Número de folio: _____

Datos del participante

Nombre completo: _____

Teléfono (casa): _____ Celular: _____

Dirección: _____

Correo Electrónico: _____

Sexo: _____ Fecha de nacimiento: _____ Edad: _____

| | | | |
|---------------|----|----|-------|
| Enfermedades: | SI | NO | Cual: |
| Medicamentos | SI | NO | Cual: |

Antecedentes familiares

Enfermedades

| | | | | |
|----------|----------|-----|--------------|-----|
| Alergias | Diabetes | HTA | Dislipidemia | ECV |
|----------|----------|-----|--------------|-----|

 otra: _____

Actividad física

Realiza actividad física: _____ ¿Cuál?: _____ Cuanto tiempo: _____

Datos antropométricos

Peso: _____ Talla: _____ IMC: _____ C.C: _____ P. Tricipital: _____

| Bioimpedancia Eléctrica | Resistencia (R) | Reactancia (Xc) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| mBCA | | |
| RJL | | |
| Impedimed | | |

Tiempos de muestreo (Dilución con Deuterio)

Hora de muestra de saliva basal: _____

Peso de la dosis: _____

Hora del consumo de la dosis: _____

Muestras de saliva post dosis (3 horas): _____

| | % Grasa | CMO (g) |
|--------|---------|---------|
| DXA | | |
| BodPod | | |

Apéndice 6

Volantes para la captación de voluntarios al estudio



CONOCE TU COMPOSICIÓN CORPORAL!!

TOTALMENTE GRATIS

Incluye las siguientes mediciones:

- ✓ Peso
- ✓ Talla
- ✓ % Grasa
- ✓ % Músculo
- ✓ Contenido Mineral Óseo (huesos)
- ✓ Agua Corporal

Oportunidad para chicos y chicas de 10 – 17 años

CUPO LIMITADO
Agenda tu evaluación gratis:
Lic. Ciencias Nutricionales
Jaquelyn Aguilar
6629 34 84 98

CONOCE TU COMPOSICIÓN CORPORAL GRATIS!!!

OPORTUNIDAD PARA NIÑOS Y NIÑAS DE 10 Y 11 AÑOS DE EDAD

Incluye las siguientes mediciones:

- Peso
- Talla
- Porcentaje de Grasa
- Agua Corporal Total
- Contenido Mineral Óseo
- Masa Libre de Grasa
- Recomendaciones Nutricionales Básicas

CUPO LIMITADO
Agenda tu cita:
6629 34 84 98 ó 6622 78 22 48
Laboratorio de Nutrición, UNISON

Apéndice 7

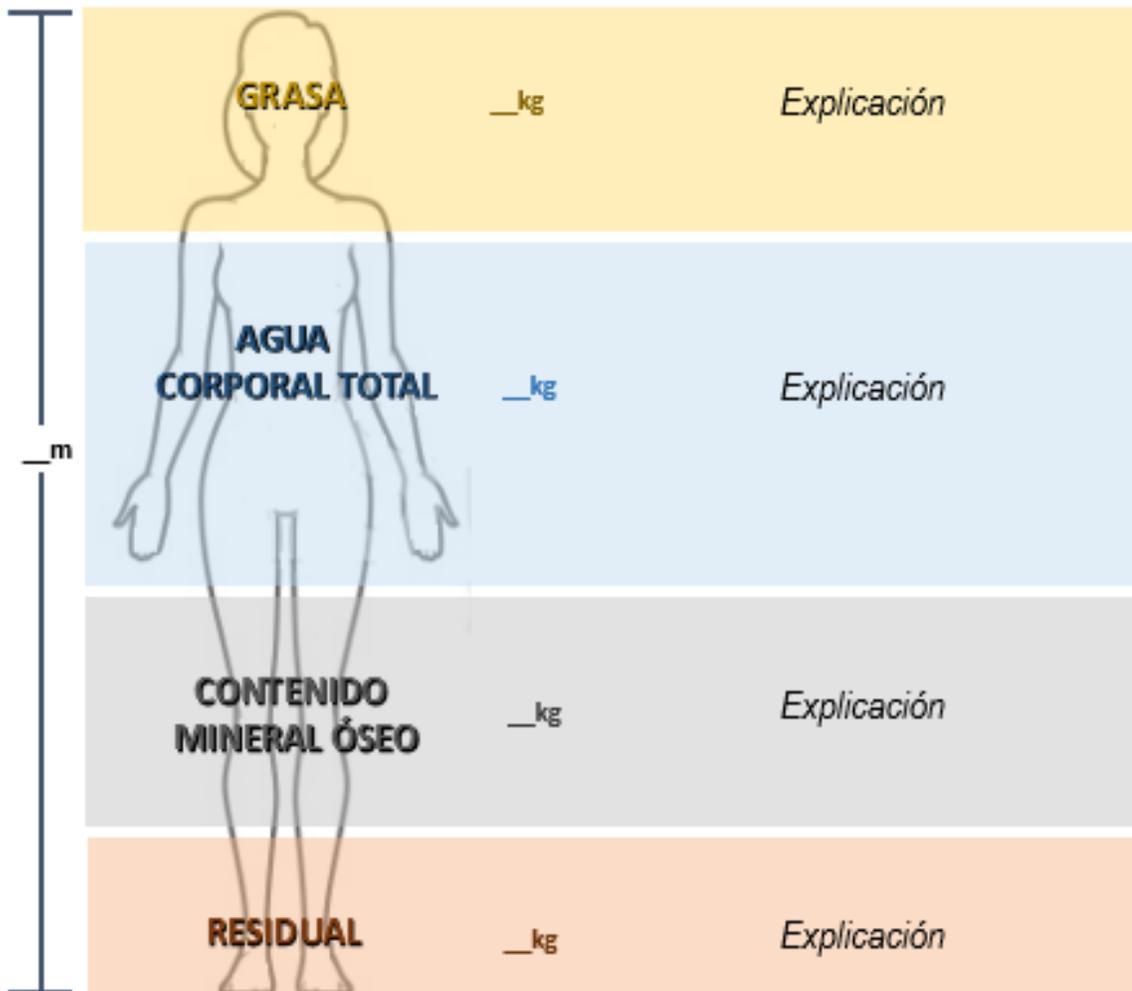
Formato de entrega de resultados para niñas



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

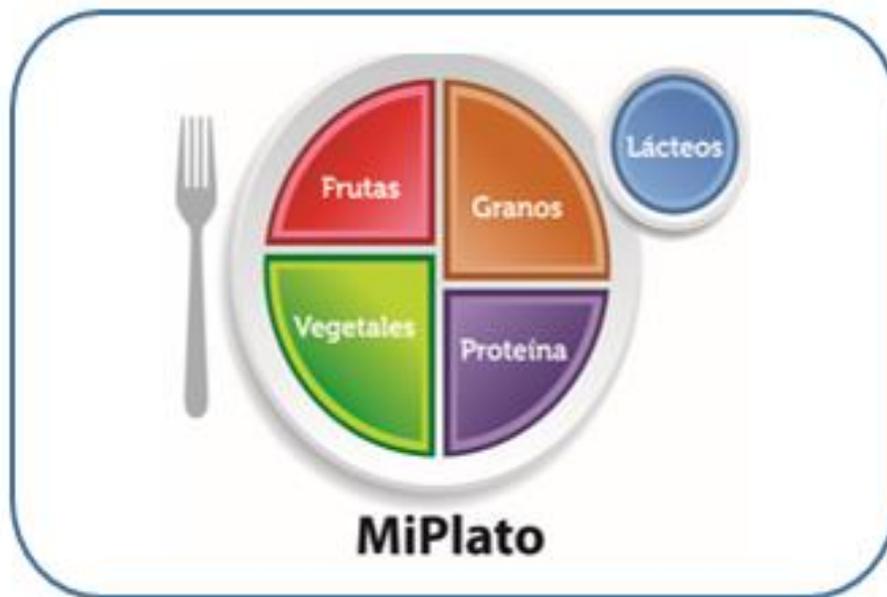


Nombre _____ **Edad** _____ **Peso** _____ **Talla** _____



MEJORA TUS HÁBITOS DE SALUD

En esta sección se describen algunas recomendaciones para mejorar tu salud a partir de una correcta alimentación y activación física.



Frutas. Muchas y variadas. Elige fruta fresca al gusto.



Varíe sus vegetales. Come más verduras de hoja oscura como espinaca y consume verduras color naranja como zanahorias.



Granos/cereales. Come granos integrales como tortilla de maíz, pan integral y pastas. Limita tortillas de harina y pan blanco.



Proteínas. Elige carnes de res o ave magras o bajas en grasa y consume más pescado. No les añadas grasa: hornee, cueza o ase la carne. Come más legumbres: frijoles, lentejas, garbanzo.



Lácteos. Selecciona productos lácteos descremados o semidescremados y sin azúcar añadida. Bebe 2 a 3 porciones al día.



Actívate 60 minutos diarios. Invierte más tiempo en hacer actividades en las que te muevas como ir a jugar al parque, pasear a tu mascota, practicar tu deporte favorito o activarte dentro de tu casa. Limita el tiempo que pasas sentado viendo televisión, jugando videojuegos o navegando en Internet.

Apéndice 8

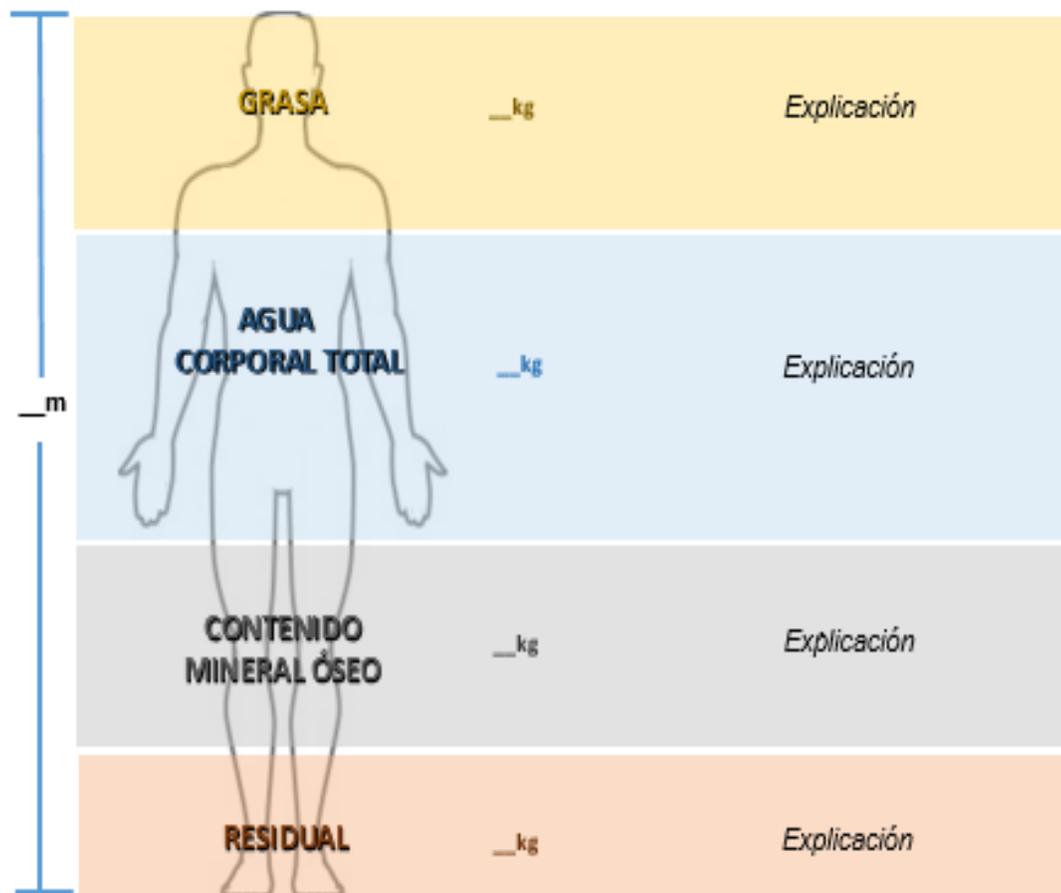
Formato de entrega de resultados para niños



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

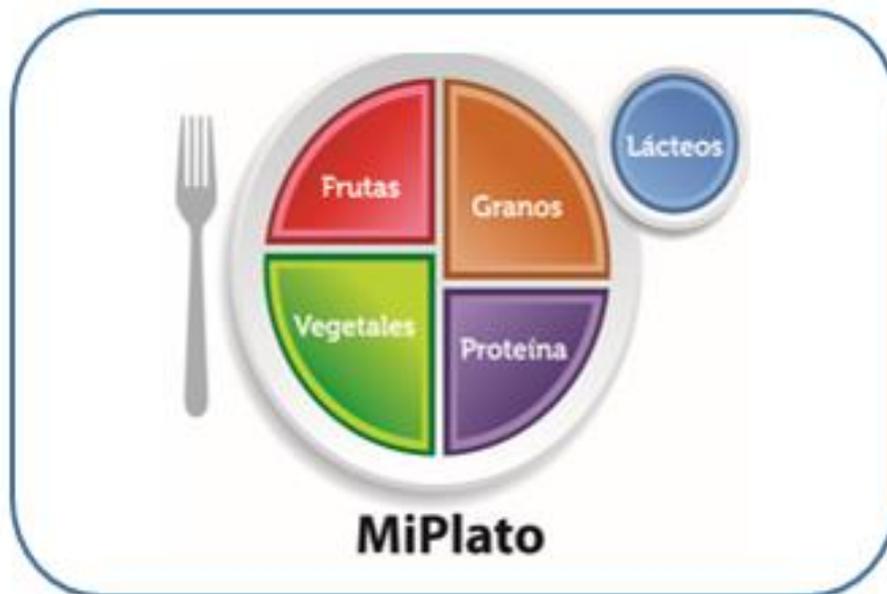


| Nombre | Edad | Peso | Talla |
|--------|------|------|-------|
|--------|------|------|-------|



MEJORA TUS HÁBITOS DE SALUD

En esta sección se describen algunas recomendaciones para mejorar tu salud a partir de una correcta alimentación y activación física.



Frutas. Muchas y variadas. Elige fruta fresca al gusto.



Varíe sus vegetales. Come más verduras de hoja oscura como espinaca y consuma verduras color naranja como zanahorias.



Granos/cereales. Come granos integrales como tortilla de maíz, pan integral y pastas. Limita tortillas de harina y pan blanco.



Proteínas. Elige carnes de res o ave magras o bajas en grasa y consuma más pescado. No les añadas grasa: hornee, cueza o ase la carne. Come más legumbres: frijoles, lentejas, garbanzo.



Lácteos. Selecciona productos lácteos descremados o semidescremados y sin azúcar añadida. Bebe 2 a 3 porciones al día.



Actívate 60 minutos diarios. Invierte más tiempo en hacer actividades en las que te muevas como ir a jugar al parque, pasear a tu mascota, practicar tu deporte favorito o activarte dentro de tu casa. Limita el tiempo que pasas sentado viendo televisión, jugando videojuegos o navegando en Internet.