



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



**VALIDACION DE LA MEDICION DE LA GRASA CORPORAL POR METODOS
DE IMPEDANCIA BIOELECTRICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

F I S I C O

P R E S E N T A

MONICA IBONNE MORALES DE LA CRUZ

DIRECTOR DE TESIS: M en C ALICIA ZARZOSA PÉREZ

México D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE CIENCIAS

División de Estudios Profesionales



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
P r e s e n t e .

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

"Validación de la medición de la grasa corporal por métodos de impedancia bioeléctrica"

realizado por **Morales de la Cruz Mónica Ibonne**, con número de cuenta **08901639-0**, quien opta por titularse en la opción **Tesis (Programa Semestral de Titulación)** en la licenciatura en **Física**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Tutor(a) Propietario	M. en C.	Alicia Zarzosa Pérez	
Propietario	Dra.	Clara Esquivel Huesca	
Propietario	M. en I.	José Manuel Alvarado Reyes	
Suplente	Biol.	Armando Muñoz Comonfort	
Suplente	Dr.	Luis Rodríguez Fernández	

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 8 de enero del 2007.
LA COORDINADORA DEL COMITÉ DE TITULACIÓN
DE LA LICENCIATURA EN FÍSICA

FACULTAD DE CIENCIAS

M. EN C. ALICIA ZARZOSA PÉREZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

A mis padres

Juan Morales Anguiano y Ma. Elena de la Cruz Peña
por todo su amor y apoyo, porque sin ustedes no sería lo que soy ahora,
Gracias por formarme como persona y como hija, *Dios los bendiga siempre.*

Con todo mi cariño y admiración para ustedes

A mis hermanos Adriana, Alberto y Hugo. Y a mis hermosas
sobrinas Estefanía, Tamara y Samantha

A mis entrañables amigas
Magdalena, Carmen y Rossy.

Agradecimientos

Comienzo dando mi agradecimiento a mi asesora y tutora de tesis M. en C. Alicia Zarzosa Pérez, porque me recibió y brindo su apoyo, me dio la oportunidad de pertenecer a un equipo de trabajo que me permitió desarrollarme y ganar amigos entrañables: Gustavo Contreras, Alejandra Hernández, Mónica Rojas, David Velásquez, Alejandro Orozco, Flor de Azalia, gracias por todo lo que compartimos y vivimos.

A mis padres que siempre estuvieron pendientes de mí en esas madrugadas de trabajo, por acompañarme y procurar mi seguridad. Por su comprensión y cariño no tengo con que agradecer lo mucho que me han brindado, los quiero muchísimo. A mis hermanos por quererme y aguantar mis excentricidades. Gracias por ser mi familia.

A la facultad de Ciencias por darme tantas experiencias buenas y no muy buenas pero aprendí la lección de cada una y me hizo fortalecerme en todos los sentidos y aun más le agradezco porque me dio las mejores amigas del mundo. A Magdalena Baez por tus locuras y ocurrencias, por tu infinita sabiduría y sobre todo tu noble corazón, gracias por siempre enseñarme y ser una amiga incondicional y apoyarme en todo momento. Te expreso mi amistad por siempre. A Rossy mi querida amiga gracias porque a pesar de todo, creíste en mi y nunca has perdido la esperanza de la amistad que nos une. Gracias por enseñarme lo que es la entrega y el deber, tienes un hermoso corazón, por todo lo vivido y lo que nos falta por compartir. Carmen si alguien me daba ánimos con una sonrisa esa eras tú, gracias por todo y todas las aventuras que compartimos, por enseñarme y apoyarme con la tesis, a pesar de todos tus deberes. Por tu contagiosa sonrisa y enseñarme que por más difícil que se torne nuestra vida, nunca hay que dejar de sonreír.

A todos mis amigos y amigas que me brindan su cariño y amistad: Astrid Guerra Padilla, a ti amiga mía por todo lo que hemos vivido y compartido.

Alejandra H. Zúñiga, por todo tu apoyo y tu amistad por darme siempre ánimos para terminar. A los amigos entrañables de Astronomía porque dejaron huella en mí: Isidro Ramírez, Sergio Israel, Sinhue Haro, Fausto Cervantes, Ignacio Cabrera. A mis amigos de generación: Eduardo Whener, Patricia Gómez, Carolina Graef, Monica Holstein. A mis amigos: Leonardo Gómez, Patricia Otañez, Gabriel Elías García, Juan Carlos Bello, Sergio Moctezuma por su apoyo y amistad.

Quiero agradecer muy infinitamente a Manuel Reyes A. por tu amistad, por escucharme y estar pendiente de mí, eres una gran persona, gracias por tus lecciones de vida que me has transmitido y que valoro mucho. Eres un gran ejemplo de lucha y superación.

A Verónica Pérez Avalos, porque sin ti, no habría crecido como persona estos dos últimos años. Tu amistad me fortalece porque si hay alguien profunda y sencilla a la vez eres tú, por lo que hemos aprendido juntas de la vida y de Dios, que la vida te colme de bendiciones.

Y finalmente a la UNAM, por que me siento orgullosa de ser universitaria y de haberme formado en esta casa de estudios.

Indice

Introduccion

Capitulo 1.Distribucion de la grasa corporal

Grasa esencial y grasa almacenada

Pautas de la distribución corporal del tejido adiposo en adolescentes

Capitulo 2.Modelos de composicion corporal

Clasificacion de metodos directos e indirectos

Indice de masa corporal (IMC)

Capitulo 3.Metodo de analisis de impedancia bioelectrica (BIA)

antecedentes

Analisis de impedancia bioelectrica

Propiedades electricas de los tejidos biologicos

Medicion de la impedancia: metodos: bipolar y tetrapolar

Capitulo 4.Determinacion del porcentaje de grasa corporal por el metodo de impedancia bioelectrica

Desarrollo experimental

Ventajas del monitor de grasa corporal/bascula (pesa) tanita modelo TBF-621

Resultados y análisis

Conclusiones

Bibliografia

Introducción

La obesidad es una enfermedad multifactorial de curso crónico en la cual se involucran aspectos genéticos, ambientales y de estilo de vida que conducen a un trastorno metabólico (Chiprut, 2001). Se caracteriza por un balance positivo de energía, que ocurre cuando la ingestión de calorías excede al gasto energético ocasionando un aumento en los depósitos de grasa corporal y por ende ganancia de peso. La obesidad en la adolescencia es un problema importante de salud pública en México (Hernández, 1997) que cada vez es más preocupante y esta tomando dimensiones epidemiológicas. Las cifras en el norte del país recabadas hace menos de una década a 4000 adolescentes entre 12 y 17 años son: 30.6 % presentaron sobrepeso mientras que el 21.2 % obesidad, es decir, que 51.8 % tenían sobrepeso-obesidad.

Diversos y muy variados estudios se han realizado para determinar la grasa corporal en las personas, que involucran diferentes métodos, la mayor parte de éstos basados en principios físicos, tales como: la densitometría hidrostática, resonancia nuclear magnética, absorciometría de rayos X, análisis de activación con neutrones, conductancia eléctrica corporal y el de análisis de impedancia bioeléctrica que a nuestro juicio es el que mejor conjuga una buena precisión con otras excelentes cualidades, como son su bajo precio, rapidez y facilidad de uso.

En lo que respecta al grupo de adolescentes, los métodos más usados son los antropométricos: índice de masa corporal (IMC) y medición de pliegues cutáneos, evaluados a través de ecuaciones validadas¹.

En el presente trabajo, se lleva a cabo un estudio que propone el método por Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA). Para validar este método se utilizó un instrumento electrónico de marca Tanita modelo TBF-621 que contiene las

¹ Las ecuaciones de Siri y Deurenberg

ecuaciones previamente validadas para la determinación de la grasa corporal, basadas en muchos estudios estadísticos en diferentes etnias.

Los objetivos de este estudio son: establecer las bases físicas en que se sustentan los diferentes métodos para la determinación de la grasa corporal y particularmente el de Impedancia Bioeléctrica. De igual forma estudiar la propiedad aislante de la grasa corporal y su distribución en el cuerpo, para finalmente comparar el método de impedancia bioeléctrica con los resultados aceptados en el área clínica.

Capítulo 1. Distribución de la grasa corporal

Los adipositos son células de gran tamaño cuya función es de tipo metabólico, a medida que se llenan de lípidos, van desplazando el núcleo y al citoplasma hacia la periferia, quedando finalmente el núcleo plano, pegado a la membrana. El número de células adiposas está genéticamente determinado, pero si durante la lactancia y hasta la infancia hay una sobrealimentación, se generan en el niño más células adiposas que las que genéticamente le corresponde, lo que es irreversible.

Grasa esencial y grasa almacenada

Diversos estudios clínicos muestran, que la composición corporal (tejido graso y no graso) está ligado directamente a la aparición de enfermedades crónicas (Barquera, 2003). Al medir la composición corporal, el estado de salud del paciente es valorado de una forma más precisa.

La mayoría de los estudios clínicos sobre el porcentaje “normal de grasa corporal” están de acuerdo que el cuerpo requiere cierta cantidad de grasa para mantener la salud. La grasa es importante para la regulación de la temperatura corporal, almacenamiento de energía, función hormonal (particularmente en la mujer) y también actúa como protector y aislante (colchón) de los órganos.

Hay dos diferentes clases de grasa corporal; la llamada “grasa esencial” y “la grasa almacenada”. La primera es necesaria para un buen funcionamiento de los diferentes sistemas del cuerpo y la “grasa almacenada” es la que el cuerpo guarda como reserva de energía. Su distribución sigue siendo un tema de investigación, ya que depende de factores genéticos que son determinantes en cada persona (Deurenberg, 1988).

Pautas de la distribución corporal del tejido adiposo en adolescentes

Se determinó¹ la existencia de dos patrones de distribución adiposa en los adolescentes: en los varones existe una tendencia a la concentración de grasa corporal en el abdomen (centralizada), mientras que las mujeres mantienen un mayor acumulo de grasa, en brazos y abdomen. Estos mismos patrones se han encontrado en diferentes poblaciones, hecho que sugiere la existencia de un componente genético universal para este fenómeno.

Al incrementarse la gordura total se observa una redistribución de la grasa corporal, desde la extremidad superior hacia el tronco, es decir un patrón de distribución centralizado (o masculino). Esto ocurre en igual medida en los dos sexos. Sin embargo, mientras que las mujeres obesas tienden a acumular grasa en el tórax, los varones obesos lo hacen en el abdomen (Demarchi, 2001).

modelos de composición corporal

Para determinar esta distribución es de gran importancia conocer los diferentes

¹ en los estudios realizados por Hernández B., Parra-Cabrera., 1997 (ver las referencias al final)

Capítulo 2. Modelos de composición corporal

El cuerpo humano está formado por diversos componentes y el tipo y número de ellos depende de las técnicas de estudio que se apliquen para identificarlos. Diversos modelos han sido propuestos (Heymsfield, 1997) **figura 1**, desde los niveles: atómico, químico hasta el más simple y clásico, el de dos compartimentos, donde el cuerpo es dividido: en masa libre de grasa (MLG) y masa grasa (MG).

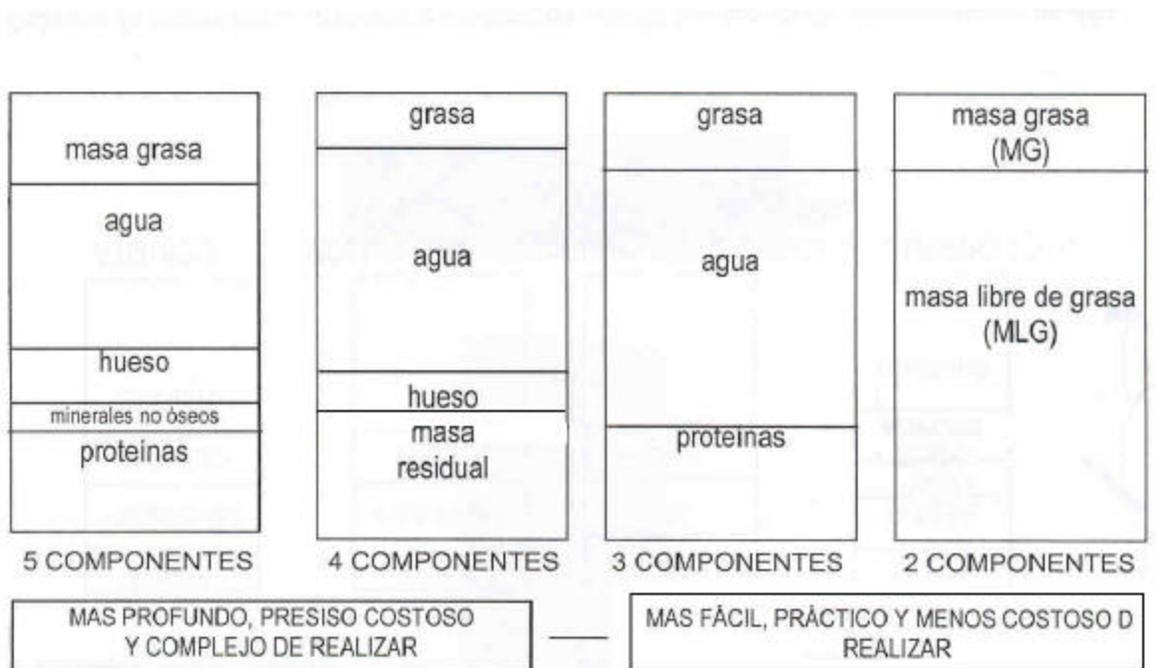


Figura 1 Diferentes modelos para el estudio de la distribución de la grasa corporal

La masa libre de grasa es considerada un compartimento metabólicamente activo, está integrada por todos los componentes corporales excepto por la grasa, es decir, vísceras, sólidos extracelulares (óseos y no óseos) fluidos corporales e incluye agua, proteínas minerales y glucógeno (Heymsfield, 1997). La masa grasa representa un componente de depósito de energía. Su proporción en el cuerpo define la condición de obesidad y presenta una gran variabilidad incluso entre sujetos del mismo sexo, etnia y edad. Con el modelo de dos compartimentos, se

determina uno de ellos (magro o graso) y el otro se estima por la diferencia con el peso corporal (Heymsfield, 1997).

Clasificación de Métodos: directos, indirectos y doblemente indirectos

Existen muchos métodos para valorar la composición corporal. Se clasifican en función de dos criterios:

A) Clasificación según la forma de trabajo:

- **Normativos-Descriptivos:** son modelos teóricos que se resumen en una fórmula (es el caso del IMC = Índice de Masa Corporal)
- **Densimétricos-Extrapolativos:** Utilizan densidades, pesos específicos, volumen, talla y peso como variables fundamentales.
- **Proporcionales-Fraccionados:** Dividen el cuerpo humano en componentes y calculan los mismos mediante fórmulas.

B) Clasificación según la metodología:

- **Métodos directos:** el único método directo es la disección de cadáveres.
- **Métodos Indirectos:** Miden un parámetro (por ejemplo: la densidad corporal), y lo utilizan para estimar uno o más componentes a través de una relación constante
- **Métodos doblemente indirectos:** Resultan de aplicar ecuaciones derivadas, a su vez, de algún otro método indirecto. Un ejemplo es la antropometría.

Algunos de estos métodos se basan en la física y aunque ninguno de ellos es perfecto, es necesario conocer sus limitaciones (Valtueña, 1996).

En la actualidad, los métodos considerados los más precisos para medir el porcentaje de grasa son: **AAN: análisis de activación con neutrones** (Beddoe, 1985) que consiste en aplicar al individuo un haz de neutrones acelerados que

serán captados por los átomos del organismo a estudiar generando isótopos inestables. Al volver a la situación de estabilidad inicial, estos isótopos liberarán la energía captada previamente emitiendo rayos gamma de una energía característica para cada elemento. El análisis de los resultados se hace a través del espectro emitido. Tiene un elevado costo y dificultad de manejo lo que la hace una herramienta de investigación básica; **RMN: resonancia magnética nuclear** (Treuth, 1995) se basa en el hecho de que ciertos núcleos atómicos pueden comportarse como imanes, como el hidrógeno, que es el más abundante en el organismo. Estos núcleos se alinean en la dirección del campo magnético. En estas condiciones, al hacer pasar a través del cuerpo una onda de radio, los núcleos estimulados absorben parte de la energía de la onda cambiando su orientación en el campo magnético. A partir de la intensidad y frecuencia de la señal de radio liberada por los núcleos se podrán construir imágenes de los tejidos. La gran ventaja es que es inofensivo requiere poca colaboración por parte del paciente y se oponen su *elevado precio* y la lentitud del procedimiento. **DEXA: absorciometría de rayos X** (Valtueña, 1996) es una técnica de diagnóstico por imágenes, consiste en medir la atenuación de haces de rayos X cuando atraviesan el organismo. Esta atenuación dependerá de la intensidad del haz a su salida del emisor y de la estructura y componentes del cuerpo atravesado. El emisor y el detector están conectados de tal manera que puedan desplazarse sincrónicamente a lo largo de la camilla en que está estirado el individuo, con lo que puede obtenerse una imagen del organismo completo. Sus grandes limitaciones son el incremento progresivo del error cometido en las determinaciones a medida que aumenta la corpulencia del individuo y su alto costo; **TOBEC: conductancia eléctrica corporal total** (Valtueña, 1996) esta técnica consiste en generar un campo magnético en el interior de un contenedor cilíndrico mediante una corriente eléctrica de 2.5 Mhz, al introducir un individuo se produce una interacción entre el componente magnético del campo y el sujeto, lo que provoca un cambio de fase en la impedancia. La magnitud de dicha interacción es directamente proporcional a la masa libre de grasa. Es no invasiva, precisa y es de las técnicas mas caras; **DH: densitometría hidrostática** (Valtueña, 1996) es uno

de los métodos considerados como de referencia para determinar la composición corporal; consiste en la inmersión completa del sujeto en un tanque lleno de agua; mientras se encuentra suspendido de una balanza para determinar su peso hidrostático. A partir del principio de Arquímedes según el cual el volumen de agua desplazado por dicho objeto puede estimarse el volumen aparente a partir de la diferencia de entre los pesos fuera y dentro del agua. Es una técnica compleja en su ejecución. **BIA: análisis de impedancia bioeléctrica** (Román, 2003) este método se basa en la naturaleza conductora del cuerpo humano debido a la presencia de electrolitos intra y extracelulares. Consiste en aplicar una corriente eléctrica alterna constante de baja intensidad en el paciente produciendo éste una resistencia al flujo de dicha corriente. Permite calcular la cantidad de masa libre de grasa en el organismo y como consecuencia, la masa grasa basándose en el método de dos componentes. Como ventajas del BIA cabe destacar su bajo precio, fácil transportabilidad del aparato, sencillez de manejo; son las características que están poniendo en uso este método.

En la **tabla 1** se muestran estos métodos físicos indicando algunas características propias de cada método. De estos el Índice de masa corporal es un método *antropométrico*, en el que se miden los pliegues de grasa que se encuentran en la región abdominal con un plicómetro. Las ecuaciones que se han validado para este método y son las más recurridas, son las de Siri¹ y Deurenberg².

¹ % grasa corporal = $[(4,95 / \text{densidad}) - 4,5] \times 100$

² % de grasa corporal = $(1,2 \cdot \text{IMC}) + (0,23 \cdot \text{edad}) - (10,8 \cdot \text{sexo}) - 5,4$

Método	Precisión	Costo	Duración min.	Dificultad	Peligro
AAN	Muy alta	Muy alto	30	Muy alta	Irradiación
RMN	Alta	Muy alto	30-60	Muy alta	No
Densitometría	Muy alta	Alto	20	Alta	No
DEXA	Alta	Alto	20	Alta	Irradiación
TOBEC	Alta	Muy alto	10	Baja	No
Antropometría	Baja	Bajo	5	Baja	No
BIA	Alta	Bajo	5	Baja	No

AAN: análisis de activación con neutrones (Beddoe, 1985); **RMN:** resonancia magnética nuclear (Treuth, 1995); **DEXA:** absorciometría de rayos X (Valtueña, 1996); **TOBEC:** conductancia eléctrica corporal total (Valtueña, 1996); **BIA:** análisis de impedancia bioeléctrica (Román, 2003)

Tabla 1: Comparación de algunas técnicas físicas para el estudio de la composición corporal

Índice de masa corporal (IMC)

El índice de masa corporal (IMC, en sus siglas inglesas BMI) es un número (adimensional) que pretende determinar, a partir de la estatura y el peso, el rango más saludable de peso que puede tener una persona. Se ha utilizado desde principios de 1980. El IMC es el resultado de dividir el peso de una persona (kg) entre el cuadrado de su talla en metros (m)

$$IMC = \frac{\text{peso}(kg)}{\text{altura}^2(m^2)} \quad (1)$$

Los rangos que establece el IMC como aceptados (Barquera, 2003) se muestra en la **tabla 2**

IMC [peso (Kg.) / talla 2(m)]	Clasificación de la OMS	Descripción popular
< 18.5	Bajo peso	Delgado
18.5 – 24.9	Adecuado	Aceptable
25.0 – 29.9	Sobrepeso	Sobrepeso
30.0 – 34.9	Obesidad grado 1	Obesidad
35.0 – 39.9	Obesidad grado 2	Obesidad
> 40	Obesidad grado 3	Obesidad

Tabla 2. Intervalos validos del IMC con su correspondiente clasificación y descripción

CAPITULO 3. Método de impedancia bioeléctrica (BIA)

Antecedentes

Las medidas de impedancia bioeléctrica en tejidos biológicos comienzan con los experimentos hechos por Galvani. Estas medidas dieron información acerca del tejido en sus propiedades dieléctricas o en su conductividad (Geddes, 1967). No fue hasta principios del siglo XX (Bourne, 1996) cuando se estudió la estructura de los tejidos biológicos basados en sus propiedades eléctricas pasivas, lo cual demostró que los tejidos biológicos son conductores y su resistencia variaba con la frecuencia de corriente alterna.

Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA)

Por definición, la impedancia bioeléctrica es la oposición que presenta un cuerpo, en nuestro caso un tejido biológico, al paso de una corriente eléctrica a través de él. En el caso de corrientes eléctricas alternas, la impedancia (Z) es un número complejo (Casona, 1999) definido como la relación entre la tensión medida (V) y el flujo de corriente total (I). Para un objeto homogéneo e isótropo, la impedancia esta en función de sus propiedades eléctricas (conductividad y permitividad). Las medidas de impedancia fueron expresadas históricamente como resistividad debido a que la parte imaginaria que corresponde a la reactancia en el cuerpo humano es muy pequeña y se desprecia (Kushner, 1992). Esta es una aproximación correcta especialmente a bajas frecuencias (1 Khz e inferiores). Sin embargo, a frecuencias altas, la reactancia se incrementa y la impedancia debe ser considerada como un número complejo que tiene magnitud y un ángulo de fase ϕ (Casona, 1999).

Propiedades eléctricas de los tejidos biológicos

Los organismos vivos están compuestos por células; y la mayoría de las células se unen entre sí mediante una matriz extracelular o bien por

adhesión directa de una célula con otra formando distintas uniones, dando lugar a tejidos.

La componente principal de las células es su membrana, cuya estructura se basa en una bicapa lipídica en la cual se encuentran distribuidas las proteínas, permitiendo la formación de canales para un intercambio iónico con el exterior. Por sus componentes moleculares (Llamosa, 2006), la membrana celular actúa como una interfase dieléctrica y puede ser considerada como las dos placas de un condensador. Por lo tanto, cuando se aplica un campo eléctrico constante, los iones cargados eléctricamente se mueven y se acumulan en ambos lados de la membrana. Sin embargo, cuando el campo es alterno, al aumentar la frecuencia, aparecen corrientes de desplazamiento a través de la barrera natural que hay entre el interior y exterior, produciendo un fenómeno de relajación.

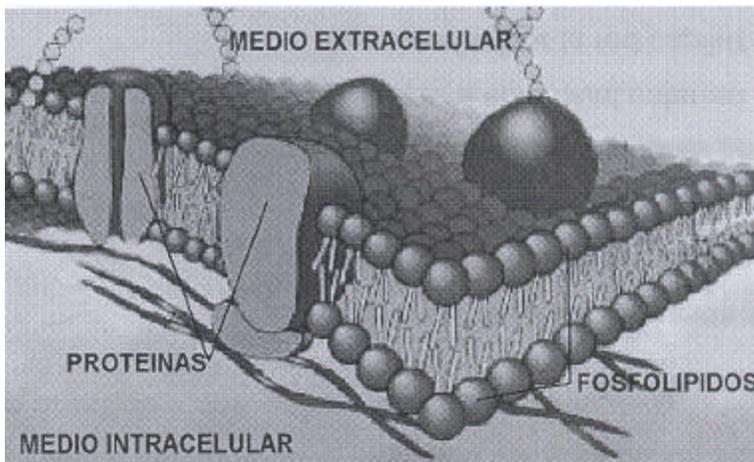


Figura. 2: La membrana celular actúa como una interfase dieléctrica

El comportamiento eléctrico de tejidos biológicos revela una dependencia de los parámetros dieléctricos con la frecuencia de la corriente que pasa a través del tejido.

Cuando la frecuencia de la corriente aplicada aumenta, la conductividad de la mayoría de los tejidos se incrementa desde un valor bajo en corriente directa, que depende del volumen extracelular, hasta un nivel constante en el rango de

frecuencia desde 10 a 100 MHz. Este incremento en conductividad está asociado a un decremento en permitividad desde un valor alto a baja frecuencia, en el rango de frecuencias que comprende desde 10 KHz a 100 MHz.

Un elemento indispensable para realizar medidas de impedancia bioeléctrica son los electrodos. Estos constituyen el transductor entre la corriente eléctrica en el sistema de medida y la corriente iónica del tejido biológico. Esta discontinuidad se resuelve mediante un mecanismo de conducción, la corriente a través de los electrodos y reacciones de oxidación-reducción en los electrodos no polarizables.

La impedancia del electrodo Z_e puede ser modelada por una resistencia R y una reactancia X en serie cuyo valor decrece cuando la frecuencia se incrementa (Geddes, 1967)

$$Z_e = R - jX \quad (2)$$

En las medidas biológicas existen dos métodos (Brown, 2000) comúnmente utilizados: el método a dos electrodos o bipolar (2EM, del inglés *2 Electrode Method*) y el método a 4 electrodos o tetrapolar (4EM, del inglés *4 Electrode Method*).

Medición de la impedancia: métodos bipolar y tetrapolar

En el método bipolar (**figura 3**) se hace circular una corriente constante (I_o) a través de dos electrodos, los cuales presentan una impedancia (Z_e) cuyo valor es usualmente mayor que el de la impedancia de interés entre los electrodos Z_x . El detector es conectado a través de los mismos electrodos y el voltaje presente (V_e) es una función de la impedancia entre los electrodos (ley de ohm)

Por lo tanto, la impedancia medida es:

$$Z_e = \frac{V_o}{I_o} = Z_{e_1} + Z_{e_2} + Z_x \quad (3)$$

Si los electrodos tienen las mismas características, entonces

$$Z_{e_1} = Z_{e_2} \quad (4)$$

Y por lo tanto, la impedancia es

$$Z_e = \frac{V_o}{I_o} = 2Z_e + Z_x \quad (5)$$

Al realizar medidas con electrodos superficiales (cutáneos) se debe considerar que la impedancia de la piel (Z_p) esta en serie con la impedancia del electrodo (Z_e). Esto da lugar a una impedancia de contacto electrodo-piel (Z_{ep}) mucho mayor que la impedancia del tejido.

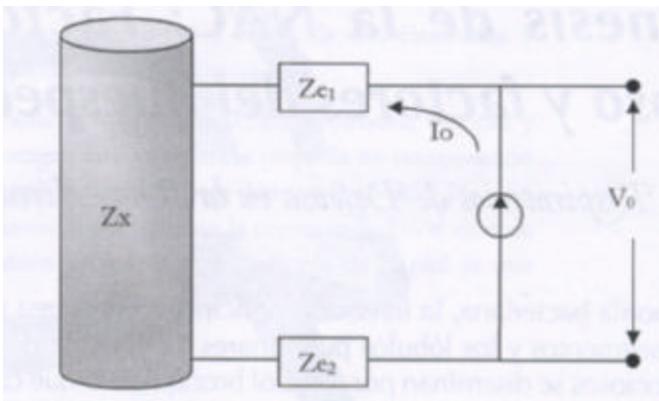


Figura 3: Modelo de 2 electrodos

Para obtener valores de impedancia bioeléctrica que puedan ser utilizados para proporcionar información acerca del tejido de interés, la contribución de la impedancia de la piel debe ser eliminada. Esto se lleva a cabo con el empleo del método de medida de impedancia bioeléctrica a 4 electrodos (**figura 4**). Consiste en aplicar una corriente (I_o) a través de dos electrodos y detectar la tensión en otros dos electrodos distintos.

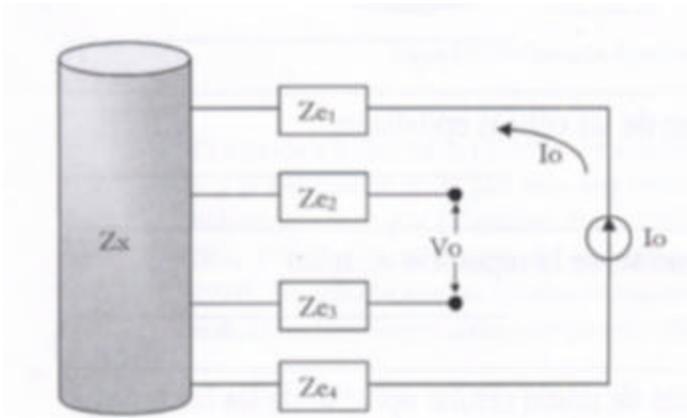


Figura 4: modelo de 4 electrodos

Con este método se consigue eliminar la impedancia de los electrodos, siempre y cuando los electrodos empleados tengan una impedancia pequeña en comparación con la impedancia de entrada del circuito utilizado para detectar la tensión V_o y no provoquen una saturación de los circuitos que inyectan la corriente I_o . En el caso de realizar medidas superficiales, también se reduce la impedancia de la piel ya que queda en serie con cada electrodo.

CAPITULO 4. Determinación del porcentaje de grasa corporal por el método de impedancia bioeléctrica

Desarrollo experimental

Para la realización de este estudio se utilizó un *Monitor de Grasa Corporal/Báscula (Pesa) Tanita modelo TBF – 621 (figura 5)* el que permite obtener una fácil medida del porcentaje de grasa corporal al igual que el peso, utilizando el método de Impedancia Bioeléctrica (BIA).

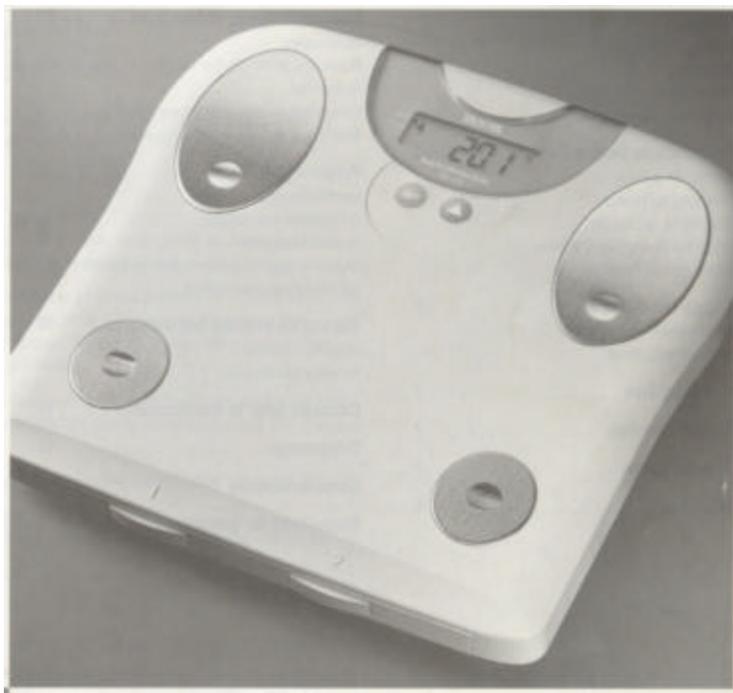


Figura 5: Monitor de grasa corporal/ báscula (pesa)
Modelo TBF-621

Se midieron 247 adolescentes sanos, con edades comprendidas entre 14 y 18 años de los cuales 136 (55.1%) son mujeres y 111 (44.9%) son hombres. La muestra se tomó de forma aleatoria en tres centros de enseñanza media superior, dos de ellos pertenecientes a la UNAM: CCH Azcapotzalco y Escuela Nacional

Preparatoria No.9 y un tercero, Colegio Mercedes. Todas las mediciones se realizaron en horario escolar¹.

Las condiciones en que se tomaron las medidas fueron controladas: el alumno estaba en ayunas, no ingirió alcohol en las últimas 24 hrs, así mismo tampoco realizó ejercicio extenuante en ese tiempo². Las adolescentes en periodo menstrual, no tuvieron participación en esta investigación, así como tampoco las personas que tuvieran marcapasos o algún otro tipo de aparato electrónico, porque podría afectarse el funcionamiento correcto del mismo.

Para el adecuado funcionamiento del monitor Tanita se programaron los datos del alumno, para tal efecto cuenta con dos memorias disponibles, se introdujeron los datos de talla y la opción: hombre/mujer, niño/adulto. Para ello fue necesario medirle a cada uno de los alumnos participantes la talla con un tallímetro *SECA BODYMETER 208* (con precisión de fracciones de 0.1 cm). Inmediatamente de guardada la información, el aparato apaga la pantalla hasta que el alumno está listo para subirse y tomar su registro de peso en kg (con precisión de fracciones del 0.1 Kg) y el porcentaje de grasa corporal (con una precisión de 0.1 % de grasa corporal). Se cuidó que el adolescente antes de subirse a la plataforma del aparato, tuviera los pies descubiertos³, limpios, secos y libres de cualquier infección, con el mínimo de ropa posible. Manteniéndose erguido y con las manos a los costados, sin moverse cuidando que sus talones y dedos de los pies quedaran perfectamente sobre los electrodos (**figura 6**).

Esto con el fin de que el monitor Tanita registrará las medidas de grasa corporal correctamente⁴

¹ entre las 8:00 y las 10:00 a.m

² criterios de inclusión porque así lo especifica el manual del aparato

³ sin zapatos ni calcetines

⁴ Tanita registra primero el dato de peso e inmediatamente el porcentaje de grasa corporal. La duración de este proceso es de 1 minuto aproximadamente



Figura 6: Registro de grasa corporal

Ya sobre la plataforma y los pies en contacto con los electrodos, Tanita monitor/báscula hace pasar a través del organismo una señal eléctrica desde los pies hasta la altura del torax, de bajo nivel y sin riesgos, de $500 \mu\text{A}$ a una frecuencia de 50 KHz es difícil que la señal pase a través de la grasa del cuerpo humano, pero es fácil que pase a través de la humedad que se encuentra en los tejidos de los músculos y en otros tejidos del cuerpo la señal usada es muy baja, haciendo que sea imperceptible y sin riesgo. Para cada registro de la grasa corporal (por alumno) se limpiaron los electrodos con torundas de alcohol según las especificaciones del manual del monitor Tanita modelo TBF-621.

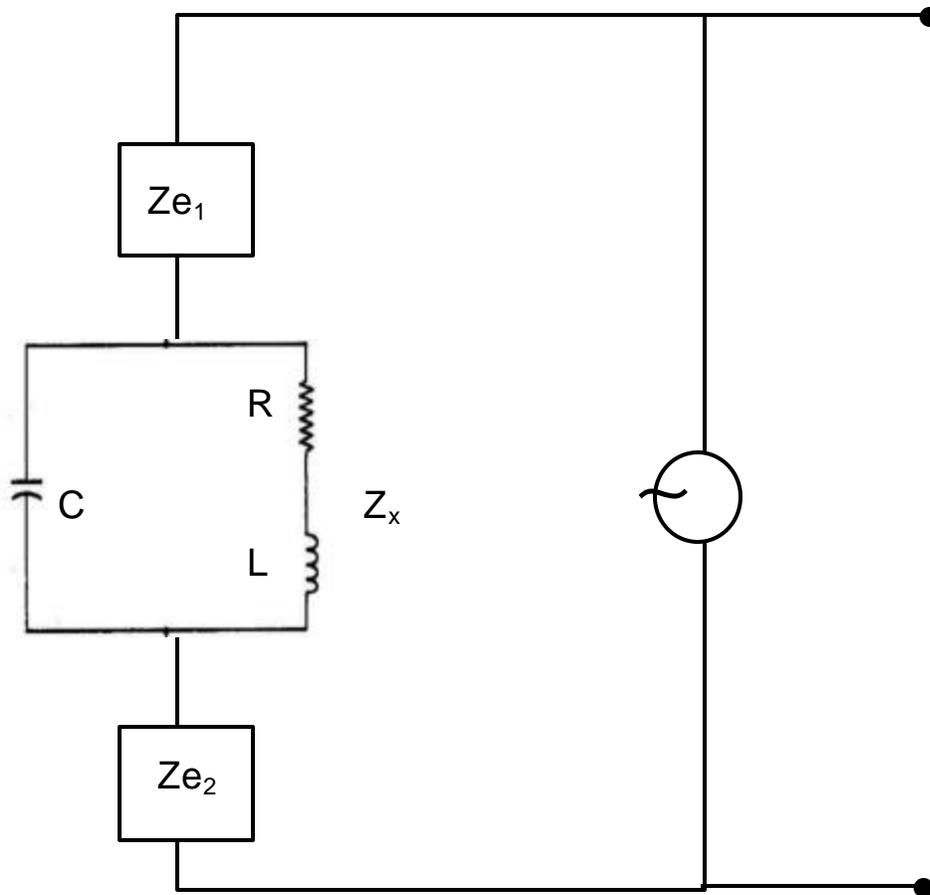


Figura 7. circuito asociado con la figura 3. Comparando con el diagrama de la figura 3. el cuerpo humano tendría un circuito equivalente. donde la C corresponde a la grasa y RL al tejido

Ventajas del Monitor de Grasa Corporal/Báscula (Pesa) Tanita modelo TBF – 621

El porcentaje de grasa corporal suele determinarse midiendo el espesor de la grasa subcutánea, pinchándola con calibradores, o acostando a una persona en una superficie aislante haciéndole pasar una corriente de la mano al pie. Sin embargo, estos métodos presentan inconvenientes, las medidas toman tiempo y algunas veces son invasivos. El método del BIA, de Tanita TBF-621 usa ecuaciones derivadas de muchos estudios estadísticos, basados en grandes

muestras de personas de diferentes orígenes étnicos, para determinar la composición del cuerpo.

RESULTADOS Y ANALISIS

Se registraron los resultados de cada alumno en un formato pensado para tal efecto, el cual contenía la información recabada sobre su edad, porcentaje de grasa corporal, talla, peso, con estos dos últimos se calculó el índice de masa corporal de cada alumno¹.

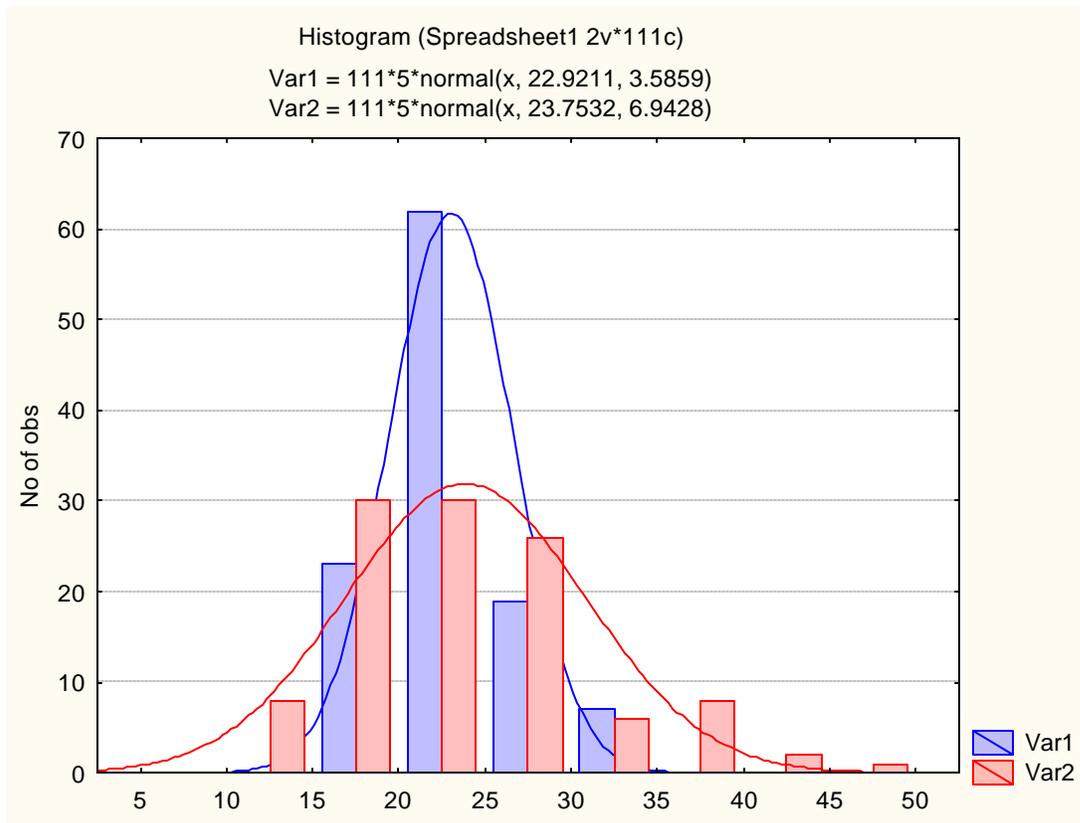
Se realizaron dos análisis: análisis por sexo y análisis ínter grupo. En el primer caso, se separaron los resultados de índice de masa corporal y porcentaje de grasa corporal por sexo² (hombres y mujeres) graficándose en un histograma³ donde el comportamiento de dichas variables (**gráfica1**) la variable 1 corresponde al índice de masa corporal y la variable 2 al porcentaje de grasa corporal.

El mismo programa propone una curva normal para cada variable, suponiendo que si el comportamiento de dichas variables fuera de este tipo, se ajustarían a las indicadas. Se observa que el índice de masa corporal está sesgada a la derecha es decir, está corrida más hacia a un lado (**gráfica1**), mientras que el comportamiento del porcentaje de grasa corporal usando el monitor Tanita, está mejor distribuido

¹ usando la ecuación 1

² análisis por sexo sin importar de que colegio son los alumnos

³ correspondiente a la muestra de varones



Gráfica 1: Histograma múltiple. Muestra N = 111 hombres

Variable 1: índice de masa corporal, IMC

Variable 2: porcentaje de grasa corporal usando el monitor Tanita modelo TBF-621

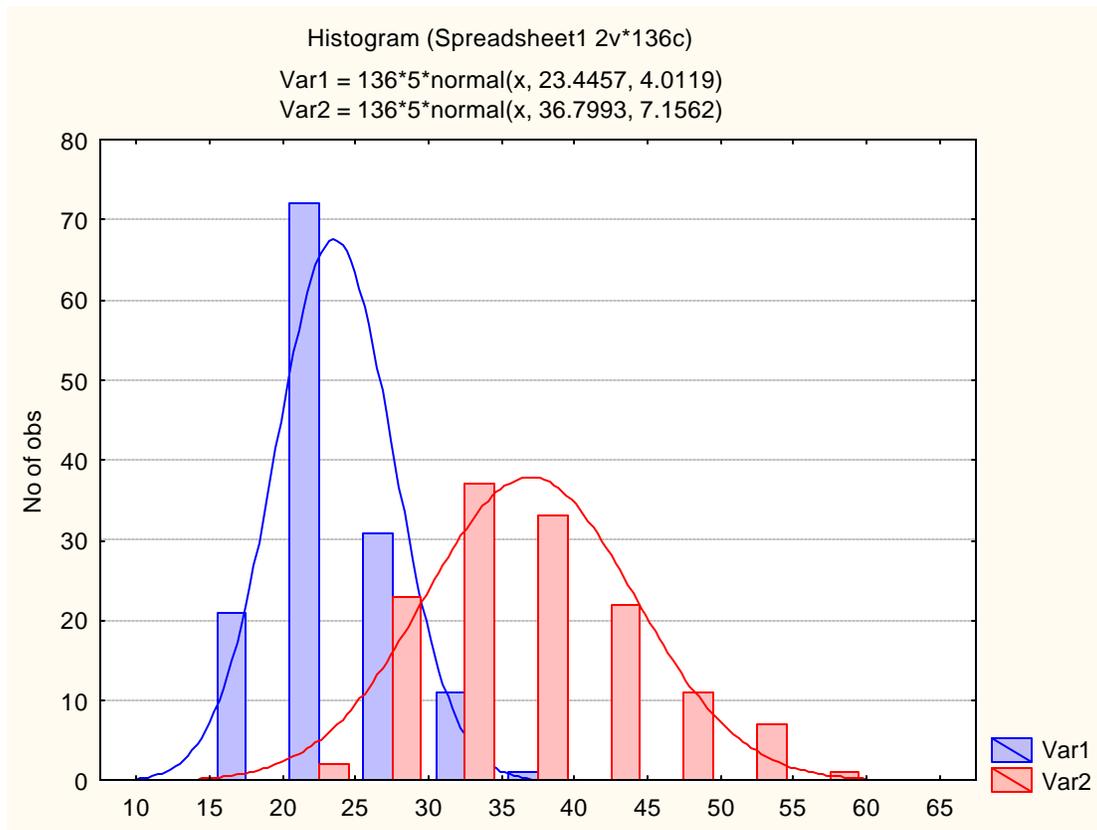
La **tabla 3** muestra una estadística descriptiva básica mostrando los resultados máximos y mínimos de ambas variables.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
INDICE DE MASA CORPORAL IMC	111	16.29	34.19	22.9200	3.58592
% DE GRASA CORPORAL TANITA TBF-621	111	11.80	46.20	23.7532	6.94278

Tabla 3: Estadística descriptiva de la muestra N = 111 hombres

Esta misma descripción se hizo para la muestra de mujeres, cuyo comportamiento se aprecia en la **gráfica 2**. Aquí es más notorio el corrimiento del histograma que representa al índice de masa corporal, mientras que el registrado por el monitor Tanita tiene un comportamiento mejor distribuido.



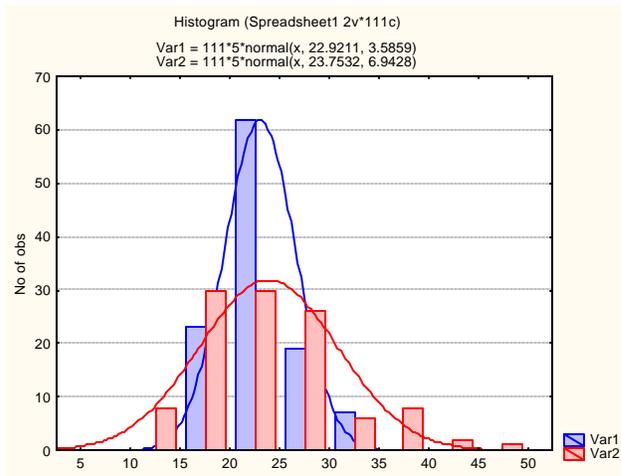
Gráfica 2: Histograma múltiple representativo de la grasa corporal. Muestra N = 136 mujeres
 Variable 1: índice de masa corporal, IMC
 Variable 2: porcentaje de grasa corporal usando el monitor Tanita modelo TBF-621

Estadísticos descriptivos

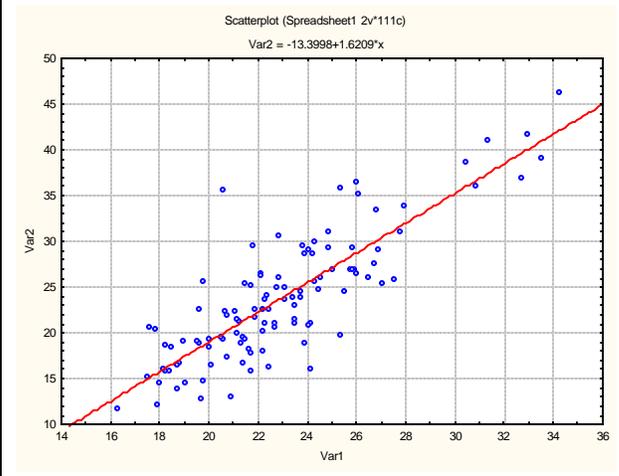
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Estándar
INDICE DE MASA CORPORAL IMC	136	15.94	37.84	23.4453	4.01168
% DE GRASA CORPORAL TANITA TBF-621	136	23.00	59.10	36.7993	7.15619

Tabla 4: Estadística descriptiva de la muestra N = 136 mujeres

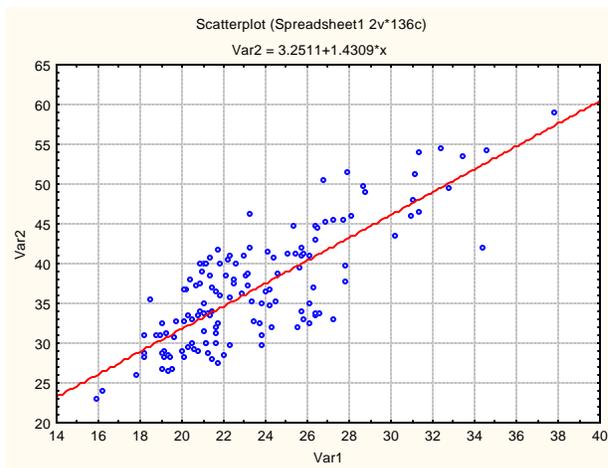
Para distinguir el comportamiento de las variables⁴ se calculó la correlación de Pearson entre ellas **gráfica 3 y gráfica 4 (ver tabla 5)**



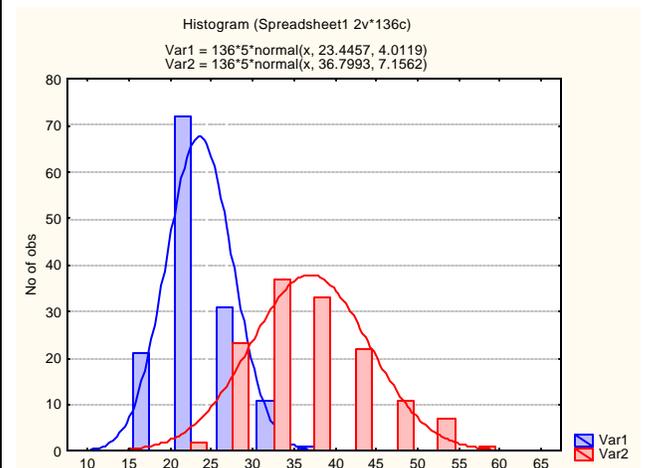
Gráfica 1: Histograma múltiple muestra hombres



Gráfica 3: Dispersión de datos muestra hombres



Gráfica 4: Dispersión de datos muestra mujeres



Gráfica 2: Histograma múltiple muestra mujeres

Tabla 5: muestra los histogramas con su correspondiente correlación de Pearson, se observa que la acumulación de los datos en ambos casos (hombres y mujeres) están cerca de la recta

⁴ variable 1: Índice de masa corporal y variable 2: porcentaje de grasa corporal con el monitor Tanita modelo TBF-621

La correlación de Pearson es una herramienta que permite observar qué tan relacionadas están dos variables, en este caso, el índice de masa corporal y el porcentaje de grasa corporal; entre más cercano esté el valor de 1 o (-1) la relación entre las variables es mas alto. Para la muestra de hombres la correlación de Pearson es de 0.837 que es próximo a 1 (ver **tabla 6**)

		INDICE DE MASA CORPORAL	% DE GRASA CORPORAL
INDICE DE MASA CORPORAL	Correlación de Pearson	1	.837(**)
	Sig. (bilateral)		.000
	N	111	111
% DE GRASA CORPORAL	Correlación de Pearson	.837(**)	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	111	111

Tabla 6: Correlación de Pearson para hombres

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Lo mismo para la muestra de mujeres; la correlación tiene un valor de 0.802 que también es próximo a 1 (ver **tabla 7**)

		INDICE DE MASA CORPORAL	% DE GRASA CORPORAL
INDICE DE MASA CORPORAL IMC	Correlación de Pearson	1	.802(**)
	Sig. (bilateral)		.000
	N	136	136
% DE GRASA CORPORAL TANITA TBF-621	Correlación de Pearson	.802(**)	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	136	136

Tabla 7: Correlación de Pearson para mujeres

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Esto nos indica que el Índice de Masa Corporal (IMC) y el porcentaje de grasa corporal medido con el monitor Tanita modelo TBF-621 están correlacionadas.

El segundo análisis que se realizó fue una ANOVA que es un análisis de varianza con un factor. Consiste en analizar el comportamiento de la variable dependiente en las k subpoblaciones o grupos⁵ establecidos por los valores de la variable independiente

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	SIGNIFICANCIA
EDAD	Inter-grupos	6.324	2	3.162	3.946	.022
	Intra-grupos	105.780	132	.801		
	Total	112.104	134			
PESO	Inter-grupos	130.604	2	65.302	.427	.653
	Intra-grupos	20175.758	132	152.847		
	Total	20306.362	134			
ALTURA	Inter-grupos	.054	2	.027	8.716	.000
	Intra-grupos	.407	132	.003		
	Total	.461	134			
GRASA MEDIDA CON EL TANITA	Inter-grupos	233.814	2	116.907	2.334	.101
	Intra-grupos	6611.029	132	50.084		
	Total	6844.843	134			
IMC	Inter-grupos	7.881	2	3.941	.242	.785
	Intra-grupos	2145.602	132	16.255		
	Total	2153.483	134			

Tabla 8: Prueba del ANOVA de un factor para la muestra de mujeres de los tres colegios. Se observa que el valor de la significancia es mayor a 0.05 en el porcentaje de grasa corporal medida con el monitor Tanita, y para el índice de masa corporal IMC

Para determinar si los promedios (medias) son iguales o diferentes para dos variables, es importante indicar el valor de la significancia estadística (p); para esto se definen dos hipótesis, la nula H_0 y la alterna H_1 .

$$H_0: \bar{\mu}_{IMC} = \bar{\mu}_{GRASA} \quad \bar{\mu}_{IMC} - \bar{\mu}_{GRASA} = 0$$

$$H_1: \bar{\mu}_{IMC} - \bar{\mu}_{GRASA} \neq 0 \quad \text{entonces se cumple que:}$$

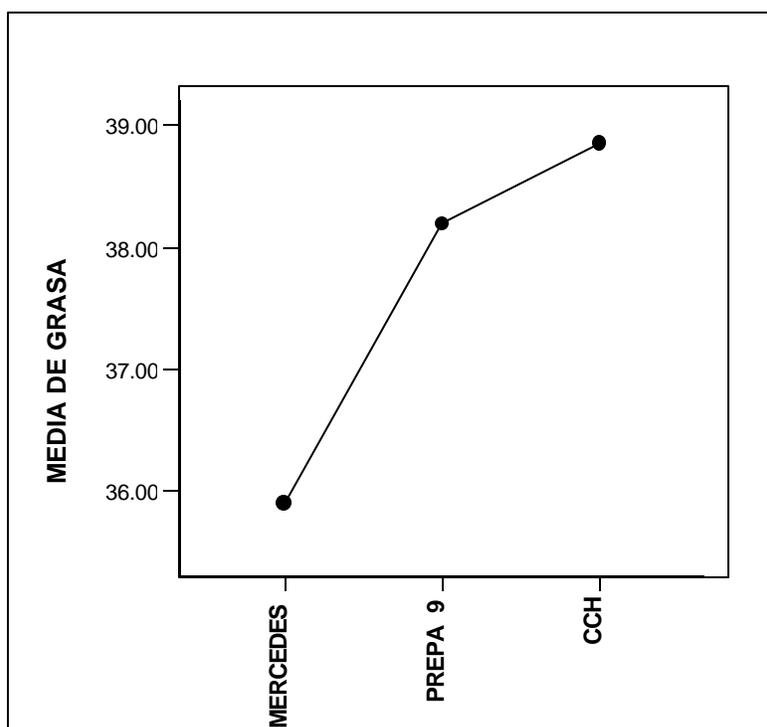
Si la significancia $p < 0.05$ se rechaza H_0 y si $p > 0.05$ se rechaza H_1

⁵ Los colegios Mercedes, Preparatoria 9 y CCH Azcapotzalco representan los grupos, de tal manera que tenemos tres grupos en la muestra de mujeres

El valor de la significancia (**tabla 8**) para el porcentaje de la grasa corporal medida con el monitor Tanita es $p = 0.101 > 0.05$ por lo que se rechaza la hipótesis alterna.

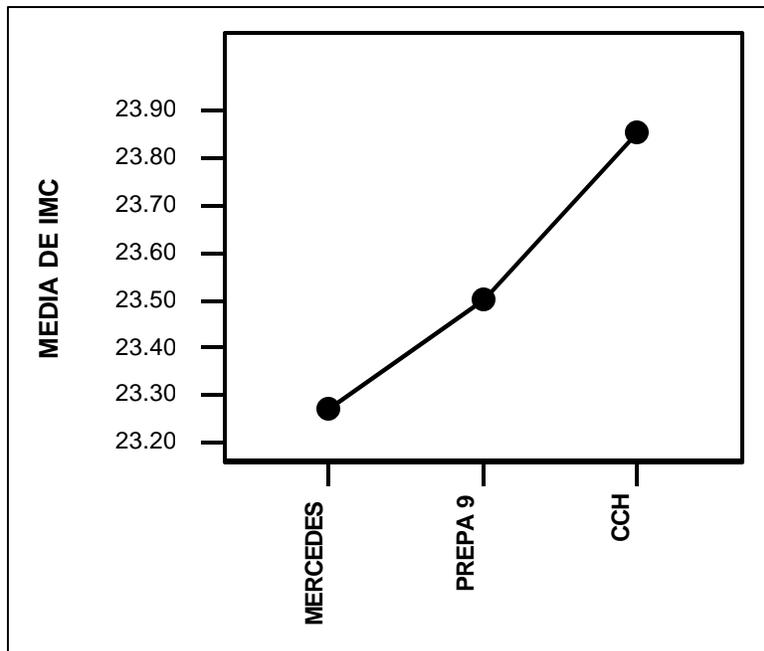
El valor de la significancia (**tabla 8**) para el índice de masa corporal IMC es $p = 0.78 > 0.05$ también se rechaza la hipótesis alterna. Entonces se concluye que se cumple H_0 . Es decir, que los promedios de grasa corporal e índice de masa corporal son iguales. Entonces estadísticamente los dos métodos son equivalentes.

La **tabla 9** muestra este estudio ínter grupo, para nuestras variables en cuestión se observa que el Colegio Mercedes (grupo 1) es el grupo que registró un valor más bajo de porcentaje de grasa corporal de 36%, mientras que el CCH Azcapotzalco (grupo 3) registra el valor más alto 39%. Es la preparatoria 9 (grupo 2) que queda con el 38%



Gráfica 5: Relación ínter grupo para la media del porcentaje de grasa corporal en los 3 grupos.

Los resultados ínter grupo para el índice de masa corporal se muestran en la **tabla 10**, donde es nuevamente el Colegio Mercedes (grupo 1) el que registró el valor más bajo en las mujeres en el IMC; le sigue preparatoria 9 y con el valor más alto, el CCH. Esto confirma lo que anteriormente se analizó, ambos métodos son equivalentes



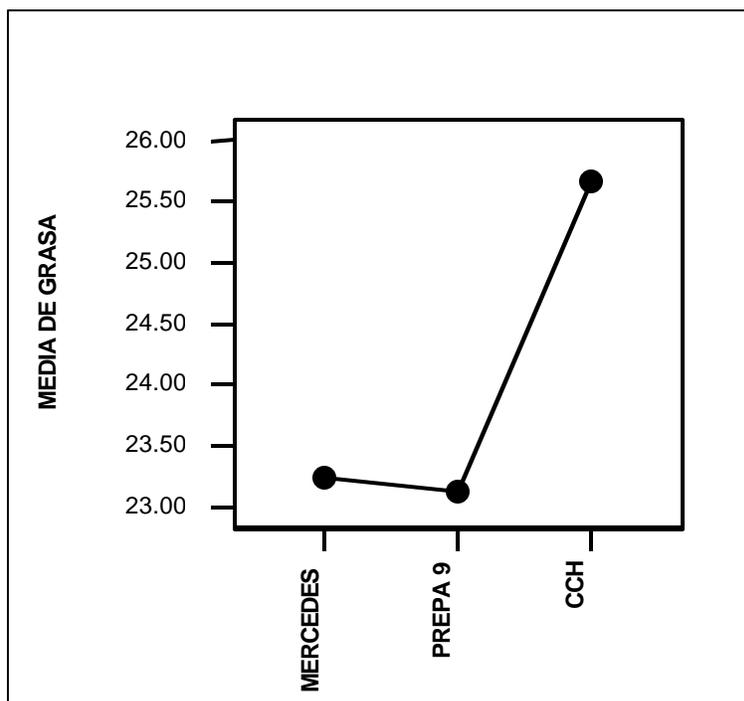
Gráfica 6: Relación ínter grupo para la media del índice de masa corporal IMC en los 3 grupos de mujeres.

Este mismo estudio se hizo en la muestra de varones de cada colegio. La prueba ANOVA para la muestra de varones dio una significancia (**tabla 9**) para el porcentaje de grasa corporal con Tanita y el índice de masa corporal, mayor a 0.05. Así que se rechaza la hipótesis alterna H_1 y se concluye que los promedios de ambas variables son iguales.

De la **Gráfica 7** se observa que el valor más bajo de porcentaje de grasa corporal lo tiene Preparatoria 9 (grupo 2) con un 23%, mientras que el valor más alto lo tiene CCH Azcapotzalco (grupo 3) con el 25.50%. Finalmente el Colegio Mercedes (grupo1) registro un 23.25%.

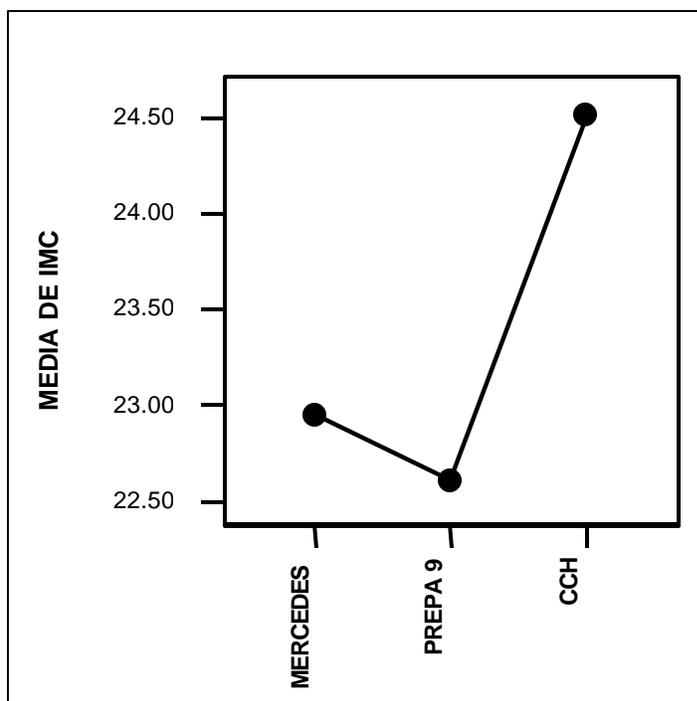
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	SIGNIFICANCIA
EDAD	Inter-grupos	1.745	2	.873	1.209	.302
	Intra-grupos	77.930	108	.722		
	Total	79.676	110			
PESO	Inter-grupos	202.496	2	101.248	.557	.575
	Intra-grupos	19645.372	108	181.902		
	Total	19847.868	110			
ALTURA	Inter-grupos	72.072	2	36.036	.982	.378
	Intra-grupos	3963.935	108	36.703		
	Total	4036.007	110			
GRASA MEDIDA CON TANITA	Inter-grupos	124.429	2	62.215	1.298	.277
	Intra-grupos	5177.807	108	47.943		
	Total	5302.236	110			
IMC	Inter-grupos	63.397	2	31.699	1.502	.227
	Intra-grupos	2279.130	108	21.103		
	Total	2342.528	110			

Tabla 9: Prueba del ANOVA de un factor para la muestra de hombres de los tres colegios. Se observa que el valor de la significancia es mayor a 0.05, en todas las variables



Gráfica 7: Relación ínter grupo para la media del porcentaje de grasa corporal medida con el aparato Tanita en los 3 grupos de hombres

En la **gráfica 8** nuevamente el valor más bajo lo obtuvo la Preparatoria 9 (grupo2) con un 22.50% y el más alto el CCH Azcapotzalco (grupo 3) con un 24.50% y el Colegio Mercedes (grupo 1) con el 23% de índice corporal



Gráfica 8: Relación inter grupo para la media del índice de masa corporal IMC en los 3 grupos de hombres

Teniendo de referencia la **tabla 2** se pueden analizar los valores promedio que se registraron en la **gráfica 6** y **gráfica 8** de índice de masa corporal (IMC) por colegio y en todos los casos tanto en la muestra de mujeres y hombres, el peso que tienen es *ADECUADO*.

En vista de que el Método de Impedancia Bioeléctrica y el IMC resultaron estadísticamente equivalentes, entonces se considera la muestra total independiente de los colegios a los que pertenecen los alumnos participantes. Se dividen por sexo (hombres y mujeres) y se calcula una

estadística descriptiva básica. La **tabla 10** para el IMC y la **tabla 11** para el porcentaje de grasa corporal de Tanita.

Estadísticos	IMC Índice de Masa Corporal	
	Mujeres	Hombres
Valor mínimo	15.94	16.29
Valor máximo	37.84	34.19
Media	23.44	22.92
Desv. estándar	4.01	3.58

Tabla 10: Registro de los valores de porcentaje de grasa corporal mediante el monitor Tanita TBF-621 y el índice de masa

Estadísticos registrados	TBF-621 Porcentaje de grasa Corporal	
	Mujeres	Hombres
Valor mínimo	23.00	11.80
Valor máximo	59.10	46.20
Media	36.80	23.75
Desv. estándar	7.15	6.94

Tabla 11: Registro de los valores de porcentaje de grasa corporal mediante el monitor de grasa Tanita que funciona con el método de impedancia bioeléctrica BIA

El análisis estadístico se realizó con los paquetes informáticos *SPSS 12* y el *STATISTICA RELEASE 7 (AMBOS DE CHICAGO, IL, EE.UU.)*

No existen hasta el momento tablas oficiales de referencia que estén aceptadas por la Organización Mundial de la Salud para un porcentaje de grasa corporal adecuado, pero es justamente uno de los objetivos de este trabajo: validar el método de Impedancia Bioeléctrica (BIA). Se observa que hay una semejanza (**gráficas 7 y 8**) en el comportamiento de los promedios correspondientes al porcentaje de grasa corporal y al índice de masa corporal (ambas en varones). Esto demuestra que aunque los valores numéricos son diferentes (**tabla 10 y 11**), coinciden por ambos métodos que el valor mínimo de grasa corporal y de IMC es la Preparatoria 9 y el valor máximo lo tiene el CCH Azcapotzalco.

En el caso de las mujeres, aunque la diferencia numérica (**tabla 10 y 11**) entre los resultados de valores máximos y mínimos por ambos métodos es más notoria y evidente, aun así coinciden; el valor mínimo corresponde al Colegio Mercedes y el máximo al CCH Azcapotzalco por ambos métodos. Existe una diferencia en el valor y comportamiento de la **gráfica 5**, pero es necesario darle seguimiento a este estudio y una manera de hacerlo es aumentar la muestra de adolescentes.

El último tratamiento que se le dio a los datos fue un análisis por cuartiles (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4) que corresponden al 0 -25%, 25 - 50%, 50 - 75% y del 75 al 100% de los datos. Los resultados se muestran en la **tabla 12**.

Esta última tabla corresponde a las tablas de referencia válidas para una población de adolescentes mexicanos con edades comprendidas entre 14 y 18 años. Se concluye que el promedio de mujeres mexicanas adolescentes es de 36.80 % de grasa corporal y del 23.75% en hombres. Estos resultados con el 95% de confianza⁶

⁶ El valor de la significancia en la prueba ANOVA

Mujeres		Hombres	
< 23	bajo peso	< 11.80	bajo peso
[23.00,31.20]	adecuado	[11.80,18.90]	adecuado
[31.30,35.70]	sobrepeso	[19.00,22.60]	sobrepeso
[36.00,40.90]	obesidad grado 1	[22.70,26.90]	obesidad grado 1
[41.00,59.10]	obesidad grado 2	[27.00,46.20]	obesidad grado 2
> 59.10	obesidad grado 3	> 46.20	obesidad grado 3

Tabla 12. Tablas de referencia para adolescentes mexicanos entre 14-18 años. Propuesta en este estudio con el método de impedancia bioeléctrica (BIA)

Conclusiones

Del análisis del porcentaje de grasa corporal en mujeres, registrado con el monitor de marca Tanita modelo TBF-621, por colegio se concluye:

1. El valor más bajo (valor mínimo) de grasa corporal registrado en el Colegio Mercedes fué del 23%, mientras que en el CCH Azcapotzalco, el valor mínimo fue de 24.10% de grasa corporal y finalmente en la escuela Nacional Preparatoria 9, se registro un valor mínimo de 28.30%.
2. El valor más alto (valor máximo) de porcentaje de grasa corporal se registró en el CCH Azcapotzalco, con un 51.10% de grasa corporal. Mientras que en el Colegio Mercedes se registró un valor máximo de 54.20% y finalmente con un 53.90% en la preparatoria 9
3. Las alumnas de la preparatoria 9 registraron el porcentaje mas alto 28.30% de los registros mínimos de grasa corporal y el porcentaje mas bajo 53.90% de los registros máximos de grasa corporal.

Para la población de varones se concluye:

1. El valor más bajo registrado con un 11.80% de grasa corporal, es en la preparatoria 9, siguiéndole el Colegio Mercedes con un 12.30% y finalmente el CCH Azcapotzalco con un 16.60% .
2. El valor más alto registrado fue en la preparatoria 9 con un 46.20%, siguiéndole el CCH con un 41.80% y finalmente el colegio mercedes con un 41% de grasa corporal
3. Se observa que para la población de adolescentes varones tanto el valor más bajo (11.80%) de los valores mínimos, como el más alto (46.20%) de los registros máximos de grasa corporal le corresponde a la Preparatoria 9.

Se dividió por grupos a la población de mujeres realizándole un análisis de varianza (ANOVA) que permite comparar medias y hace una comparación ínter grupo, de esto se observó:

1. El valor de significancia para el porcentaje de grasa corporal en mujeres fue mayor de 0.05. Por lo tanto se rechaza que los promedios sean diferentes y se concluye que los promedios de grasa corporal en los tres colegios son iguales.
2. El valor de significancia para el Índice de masa corporal en mujeres fue mayor a 0.05 nuevamente se concluye entonces que los promedios de índice de masa corporal en los tres colegios son iguales.
3. Lo mismo sucedió para la población de varones: el valor de significancia para ambos métodos resulto mayor de 0.05
4. Finalmente, se concluye con este análisis ínter grupo (ANOVA) que estadísticamente ambos métodos son equivalentes: el porcentaje de grasa corporal medida con el aparato Tanita (que utiliza el método de impedancia Bioeléctrica) y el Índice de Masa Corporal IMC.

El medidor de grasa Tanita, modelo TBF-621 que es de fácil adquisición en el mercado (al alcance del consumidor) y funciona con el método de análisis por Impedancia Bioeléctrica (BIA), resultó ser un buen predictor del porcentaje de grasa corporal, funcionando como un método simple y reproducible en la evaluación de la grasa corporal, además de ser un aparato portátil, no invasivo, indoloro, sencillo y de resultados inmediatos.

Los resultados obtenidos con un 95% de confianza, son válidos para una población adolescente que corresponde al turno matutino de la Escuela Nacional Preparatoria 9, Colegio de Ciencias y Humanidades, Azcapotzalco y el Colegio Mercedes. Es deseable dar continuidad a esta investigación para aumentar el número de elementos de la población adolescente, ya que hasta el presente no hay datos de referencia nacionales para la composición corporal

medida por impedancia bioeléctrica, de tal forma que este estudio constituye una aportación.

BIBLIOGRAFIA

- BARQUERA, F., GARGIA, E., GONZALEZ, V., 2003. **Obesidad y criterios actuales para diagnosticarla**. Practica médica efectiva, Vol.5, No. 2.
- BOURNE, J., RIGAUD, B. MORUCCI, J., 1996. **Bioelectrical Impedance Techniques in Medicine**. Critical reviews in biomedical engineering: 24(4-6):323-51
- BROWN, B., WILSON, A., 2000. **Bipolar and tetrapolar transfer impedance measurements from value conductor**. Electronics Letters 7th December. Vol.36, No. 25
- CASANOVA, R., RODRIGUEZ, I., 2004. **Análisis de la composición corporal por parámetros antropométricos y bioeléctricos**. An Pediatr (Barc); 61(1):23-31
- CASONA, M., TORRES, S., CASANOVA M., 1999. **Bases físicas del análisis de la impedancia bioeléctrica**. Vox Pediatrica:7:2:139-43
- CHIPRUT, R., CASTELLANOS URDAIBAY, A. 2001. **La obesidad en el siglo XXI, avances en etiopatogenia y tratamiento**. Gac Med Mex Vol.137, No.4
- DEMARCHI, D., ZURLO DE MIROTTI, S., 2001. **Pautas de la distribución corporal del tejido adiposo en adolescentes**. Rev Cubana Invest Biomed; 20(2):87-92.
- DEURENBERG, P, WESTSTRATE JA, PAYMANS I, 1988. **Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans**. Eur J Clin Nutr:42:1017-22
- FEYNMAN, LEIGHTON, SANDS. 1998. **Física: Electromagnetismo y materia**. Vol II. Ed. Pearson Education
- GEDDES, L, BAKER, L, 1967. **The specific resistance of biological material**. Med Biol Eng:5:271-93
- HERNANDEZ B., PARRA-CABRERA, S., 1997. **Factores asociados con la obesidad en pre-adolescentes y adolescentes en México**. Boletín trimestral de la unidad de investigación epidemiológica y en servicios de salud del adolescente, IMSS.

HEYMSFIELD, S., WANG, Z.. 1997. **Human body composition: advances in models and methods**. Annu Rev Nutr:17: 527-58

KUSHNER, RF., 1992 **Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications**. J Am Coll Nutr:11:199-209

KYLE U., DE LORENZO A., BOSAEUS I. 2004. **Bioelectrical impedance analysis**. Clin Nutr : 23 :1430-1453

LLAMOSAS, D., MUÑOZ, E., CARDENAS, P., 2006. **Caracterización de sistemas biológicos a través de espectroscopia de impedancia bioeléctrica**. Revista colombiana de física, Vol., 38; No.1

MORALES, L., LARA , L., MARAÑÓN, C.,2002. **Bioimpedancia**. Santiago de cuba: CNEA

ROMAN, A., NUÑEZ, A., LARA, A., 2003. **La bioimpedancia, una solución alternativa en la valoración de la composición corporal**. Sociedad Cubana de Bioingeniería, Habana. Memorias V congreso

SPIEGEL, M., STEPHENS, L., 2002. **Estadística** . McGraw-Hill, 3a. ed.

T.C.KO,G., TANG, J., CHAN, C., 2001. **Lower BMI cut-off value to define obesity in Hong Kong Chinese: an analysis based on body fat assessment by bioelectrical impedance**. British Journal of Nutrition:85:239-42

VALTUEÑA, S., ARIJA V., 1996. **Estado actual de los métodos de evaluación de la composición corporal: descripción, reproducibilidad, precisión, ámbitos de aplicación, seguridad, coste y perspectivas de futuro**. Med Clin (Barc):106:624-35

http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol8_4_04/san04404.htm

<http://bvs.insp.mx>