

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS

Composición corporal y estado nutricio en niños de 3 a 24 meses por modelos multicompartamentales y generación de modelos predictivos para masa libre de grasa



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

LICENCIADO EN CIENCIAS NUTRICIONALES

Presentan:

César Avner López Jiménez

Brianda Isamar Monreal Barraza

Edna Lizbeth Robles Valenzuela

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

APROBACIÓN

Los miembros del Jurado designado para revisar la Tesis Profesional de: **César Avner López Jiménez, Brianda Isamar Monreal Barraza y Edna Lizbeth Robles Valenzuela**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el Título de Licenciado en Ciencias Nutricionales.



M.C. Rosa Consuelo Villegas Valle
Director de Tesis



M.C. María Rosa Estela Lerma Maldonado
Secretaria



Dr. Mauro E. Valencia Juillerat
Vocal



M.C. Lesley Evelyn Antunez Roman
Suplente

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma mater, la Universidad de Sonora, por brindarnos el conocimiento para concluir nuestros estudios universitarios y las experiencias vividas en esta etapa, así como el apoyo dado para el desarrollo de esta tesis.

Se agradece a la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) por el financiamiento brindado a este proyecto.

Al Hospital Infantil del Estado de Sonora (HIES) y al Centro de Salud Rural “Miguel Alemán” y a su personal, por prestar sus servicios, instalaciones y apoyo para el reclutamiento de voluntarios.

A nuestra directora de tesis, la M.C. Rosa Consuelo Villegas Valle por habernos dado la oportunidad de trabajar con ella en este proyecto durante todo este tiempo, por motivarnos al desarrollo de esta tesis y ser nuestra principal guía en este trabajo, así como por todo el conocimiento y experiencias que pudimos obtener al trabajar a su lado.

Al Dr. Mauro E. Valencia Juillerat y la M.C. Lesley Evelyn Antunez Roman, por estar a nuestro lado durante todo el proyecto, por sus enseñanzas y por ayudarnos a dar lo mejor de nosotros durante las mediciones y durante la realización de este trabajo. También queremos agradecer a la M.C. María Rosa Lerma Maldonado por su participación como jurado y por sus aportaciones en la mejora de este trabajo.

A los voluntarios y a los compañeros que nos ayudaron en la realización de mediciones y reclutamiento, en especial a nuestra amiga Karla Pimienta, quien estuvo con nosotros durante todo el proceso práctico de este trabajo.

No podemos dejar de dar gracias a nuestra familia y amigos, por estar a nuestro lado durante toda esta experiencia, alentarnos a concluir nuestro trabajo y darnos el apoyo necesario para hacerlo.

DEDICATORIAS

La presente tesis la dedico, primeramente a Dios, por darme la paciencia, salud y tiempo necesario para lograr este objetivo, con el cual culmino mis estudios universitarios.

A mis padres y hermano, por siempre apoyarme en todo lo que necesité durante el desarrollo de mi licenciatura, pero sobretodo, por ser un sustento y guías en mi vida.

A familiares y amigos, por estar conmigo en momentos difíciles, por brindarme su apoyo incondicional.

A mis maestros, por ser ese pilar en el desarrollo de mi formación académica, por sus consejos y dedicación.

A mis compañeras de tesis por su responsabilidad, tolerancia y perseverancia, en este trabajo.

César Avner López Jiménez

DEDICATORIAS

A mis padres por su apoyo, consejos y amor brindado. Por convertirme en la persona que soy gracias a su ejemplo, enseñanzas y valores. Por creer siempre en mí, ayudándome a superarme y conseguir mis objetivos.

A mis Hermanos y sobrinos, por su apoyo, cariño y compañía en esta etapa de mi vida.

A ustedes familia les dedico mis esfuerzos y trabajo, los amo.

Brianda Isamar Monreal Barraza

DEDICATORIAS

*A mis papás, quienes con tanto esfuerzo y amor
me permitieron llegar hasta donde estoy y ser quien soy,
porque siguen creyendo en mí
y me dan ánimos para ser mejor cada día.*

*A mis hermanitos, por todo su apoyo y cariño,
y a mis amigas por estar a mi lado en los
momentos importantes de mi vida.*

Los quiero mucho.

Edna Lizbeth Robles Valenzuela

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
ANTECEDENTES.....	14
Los problemas de nutrición en México y el mundo.....	14
Consecuencias de la desnutrición a largo plazo.....	14
La evaluación del estado nutricional en lactantes y niños pequeños.....	15
Antropometría.....	15
Composición Corporal.....	17
Modelos multicompartamentales.....	18
Medición de los compartimentos corporales.....	21
Grasa corporal a partir de la densidad corporal (D_b).....	21
Agua corporal total (ACT) por dilución con D_2O	23
Masa mineral ósea (MMO) por absorciometría dual de rayos X (DXA).....	24
Estudios de referencia en lactantes y niños pequeños.....	25
Estimación de la composición corporal en el campo clínico.....	26
Modelos predictivos para obtener ACT por métodos de campo.....	28
JUSTIFICACIÓN.....	29
OBJETIVO GENERAL.....	30
Objetivos específicos.....	30
METODOLOGÍA.....	31
Sujetos.....	31
Reclutamiento de voluntarios.....	31
Diseño Experimental.....	32
Métodos.....	32
Evaluación antropométrica del estado nutricional.....	32
Peso.....	32
Longitud.....	33
Perímetro cefálico (PC).....	33

Perímetro del punto medio del brazo (PPMB).....	33
Composición corporal.....	36
Grasa corporal a partir de la densidad corporal (D_b).....	36
Pliegue bicipital.....	36
Pliegue tricipital.....	36
Pliegue subescapular.....	36
Pliegue suprailiaco.....	36
Absorciometría Dual de Rayos X (DXA).....	37
Dosificación de óxido de deuterio (D_2O) al 99.8%.....	38
Modelos multicompartamentales.....	40
3 compartimentos.....	40
4 compartimentos.....	40
Desarrollo de algoritmos para la estimación de la composición corporal.....	41
Bioimpedancia eléctrica (BIA).....	41
Análisis estadístico.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
Antropometría.....	43
Composición corporal.....	48
Correlaciones destacadas entre variables.....	49
Desarrollo de ecuaciones predictivas de la masa libre de grasa	56
CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXO 1. Formato de consentimiento informado.....	68
ANEXO 2. Encuesta de datos salud.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Porcentaje de grasa (como fracción del peso corporal) de referencia de niños de 0.5 meses a 24 meses (adaptado de Butte y cols., 2000)	26
2. Puntos de corte del programa Anthro 3.2.2.....	35
3. Puntos de corte y clasificación del estado nutricional del programa Anthro 3.2.2.....	35
4. Características antropométricas de los niños.....	44
5. Índices de crecimiento de los participantes, según los criterios de la OMS, 2006.....	45
6. Comparación en los índices antropométricos en lactantes del área agrícola y urbana del municipio de Hermosillo, según la OMS 2006.....	47
7. Características antropométricas de los niños a los que se les analizó su composición corporal (n=41).....	49
8. Porcentajes de grasa corporal según los diferentes métodos utilizados y el sexo de los voluntarios.....	51
9. Comparación de los porcentajes de grasa obtenidos por diversos métodos, y según el estado nutricional de los lactantes.....	53
10. Correlaciones de Pearson de los distintos pliegues cutáneos con el porcentaje de masa grasa corporal por dilución con D ₂ O.....	56
11. Análisis de regresión múltiple para determinar variables asociadas a la masa libre de grasa (MLG) (n=21).....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Modelo de cinco niveles de composición corporal (Heymsfield y cols, 2005)....	19
2. Ejemplos de modelos moleculares de varios compartimentos y sus componentes (Heymsfield y cols, 2005).....	20
3. Método de dilución con óxido de deuterio (OIEA, 2009).....	23
4. Medición del peso corporal en lactantes con balanza pediátrica.....	32
5. Medición de longitud en lactantes con infantómetro.....	33
6. Medición del pliegue subescapular.....	37
7. Imagen de una medición en DXA con un niño en movimiento.....	38
8. Toma de muestra de saliva de un bebé con un hisopo de algodón.....	38
9. Dosificación con D ₂ O con ayuda de una sonda.....	39
10. Medición de bioimpedancia eléctrica.....	41
11. Clasificación de los niños medidos según su estado nutricional.....	46
12. Frecuencia de los diferentes tipos de desnutrición en la muestra.....	46
13. Diferencia estadística entre los distintos métodos utilizados para medir el porcentaje de grasa (Prueba Tukey-Kramer).....	52
14. Correlación de la masa mineral ósea medida por DXA vs. el peso corporal.....	54
15. Correlación del puntaje Z del peso para la longitud vs. IMC para la edad obtenido del programa Anthro 3.2.2.....	54
16. Correlación del porcentaje de grasa corporal obtenido con la ecuación de Siri (1961) de 3 compartimentos y la de Lohman (1993) de 4 compartimentos...	55
17. Aumento de la R ² según la secuencia en la entrada de variables.....	57
18. Análisis Bland-Altman del modelo obtenido con la MLG por 4C (Lohman, 1993) (n=20).....	60

RESUMEN

La evaluación del estado nutricional en lactantes se utiliza para conocer su crecimiento y salud, y puede llevarse a cabo de manera sencilla mediante antropometría y la evaluación de la composición corporal, para conocer la calidad de crecimiento. El objetivo de este estudio fue evaluar el estado nutricional y medir la composición corporal por una estrategia multicompartmental combinando diferentes métodos en niños de 3 a 24 meses. Se realizaron mediciones antropométricas (peso, longitud, perímetros y pliegues cutáneos) en 68 niños sanos a término (34 niñas, 34 niños) del área agrícola y urbana del municipio de Hermosillo, Sonora. Cuarenta y un niños completaron las mediciones para incluirse en el análisis de composición corporal (dilución con D₂O, BIA, y DXA). Los datos se utilizaron para desarrollar modelos predictivos de composición corporal basados en modelos de 2, 3 y 4 compartimentos con la masa libre de grasa (MLG) como variable dependiente. Las características antropométricas entre niños y niñas fueron similares, a excepción del pliegue subescapular, que fue mayor en niñas que en niños ($p < 0.05$). De acuerdo a los estándares de crecimiento de la OMS (2006), once lactantes presentaron algún tipo de desnutrición y dos de ellos presentaron sobrepeso. Las niñas presentaron un porcentaje de grasa similar al de los niños ($p > 0.05$), mientras que en los lactantes eutróficos fue mayor que en los niños con desnutrición ($p < 0.05$). Se observó que DXA sobreestimó el porcentaje de grasa corporal, comparado con dilución con D₂O y modelos multicompartmentales ($p < 0.0001$). En cuanto al desarrollo de algoritmos para el cálculo predictivo de la MLG, se observó que al utilizar BIA sólo aumentó 0.0045 el valor de R² para la predicción de la MLG comparado con el uso solamente de antropometría. Por lo tanto, se eligió una ecuación basada únicamente en mediciones antropométricas y sociodemográficas. El modelo predictivo final basado en un modelo de 4C fue: $MLG (kg) = 0.4263 + (0.0672 * Edad) + (0.6462 * Peso) + (0.2702 * Sexo)$ ($R^2 = 0.98$; $SEE = 0.19$). En conclusión, los niños del área urbana tuvieron un mejor estado nutricional que los niños de área rural de Hermosillo. Se logró la optimización de la dosificación con D₂O en este grupo de edad, y en el desarrollo de algoritmos para el cálculo de la composición corporal las variables obtenidas por BIA no fueron buenas predictoras de la masa libre de grasa.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado nutricional en lactantes y niños pequeños es de interés para conocer su estado de crecimiento y de salud.

La antropometría es de gran utilidad para la medición y clasificación del estado nutricional en lactantes y niños pequeños, dado a que por su edad, son más vulnerables a presentar problemas de desnutrición que pueden afectar esta etapa crítica del crecimiento, y por lo tanto, su vida futura (OPS, 2002). Para evaluar el crecimiento desde lactantes hasta jóvenes de 19 años, recientemente se ha recomendado el uso de los patrones de crecimiento y referencias derivados de estudios internacionales, con parámetros y puntos de corte específicos, como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Existen varios indicadores, como el peso para la longitud, el peso para la edad y la longitud o talla para la edad reflejados en las curvas de crecimiento, que ayudan a evaluar el crecimiento y desarrollo de los niños y jóvenes (OMS, 2006).

Por otra parte, el análisis de la composición corporal permite conocer las proporciones de los distintos componentes del cuerpo humano, y su estudio constituye un eje complementario central que permite evaluar la calidad del crecimiento. La medición del agua corporal total (ACT), de la masa grasa (MG), de la masa libre de grasa (MLG) y de la masa mineral ósea (MMO) permite una mejor caracterización de la composición corporal, y potencialmente una mejor exploración de su relación con el desarrollo de enfermedades como las crónicas degenerativas en la vida futura (Wells, 2008).

Conceptualmente, el estudio de la composición corporal se puede establecer por compartimentos. El modelo molecular más sencillo es el de dos compartimentos, en el que después de medir la grasa corporal total por algún método (por ejemplo, densidad corporal, D_b), obtenemos la masa libre de grasa (MLG) por diferencia con el peso del cuerpo. La MLG contiene el agua, los minerales, el nitrógeno o proteína corporal, el glucógeno y los lípidos de membrana. A partir de esto, si desagregamos los componentes de la MLG midiendo su contenido de agua se obtiene un modelo de 3 compartimentos, con grasa, agua y un residuo de MLG-anhidra. Así mismo, si en ese residuo anhidro, medimos los minerales (por ejemplo, mediante absorciometría dual de rayos X, DXA) se obtiene un modelo de 4 compartimentos,

con la grasa, el agua, los minerales y un residuo anhidro desmineralizado (Heymsfield y cols, 2005).

Para evaluar los distintos compartimentos corporales se utilizan diversas técnicas altamente exactas y precisas. La estimación de la grasa corporal se lleva a cabo por la medición del volumen corporal con base en principios físicos como la hidrodensitometría (Benhke, 1942) y la pletismografía (BOD-POD y PEA-POD) (Dempster y Aitkens, 1995; URLando y cols. 2003) que mide el volumen corporal con base en el desplazamiento de aire en una cámara donde se inducen cambios de presión. Con la medición del peso corporal se calcula la densidad corporal (D_b). Estos métodos se consideran estándares de referencia y se han utilizado para validar la estimación de la densidad corporal por otros métodos de campo, como los panículos adiposos (Durnin y Womersley, 1974; Weststrate y Deurenberg, 1989).

Así mismo, el agua corporal total se mide tradicionalmente con base en el principio de dilución. Actualmente, el método más aplicado es el que utiliza óxido de deuterio (D_2O), un isótopo estable y no radioactivo, totalmente seguro en las dosis utilizadas para humanos desde recién nacidos, embarazadas, mujeres lactantes, enfermos y adultos mayores (OIEA, 2009).

Otro método de referencia es DXA, que mide la masa mineral ósea *in vivo* con base en la atenuación de rayos X de baja intensidad por la grasa, el hueso y el tejido blando (Heymsfield, y cols. 1989). Además de estimar la composición corporal total, el método permite evaluar la composición corporal regional cada vez a mayor detalle en función del avance en la capacidad de resolución de las imágenes y los programas computacionales disponibles actualmente.

En general, el medir la composición corporal utilizando modelos multicompartamentales es complicado, ya que se requiere equipo altamente especializado y costoso. Por este motivo, existen otras técnicas que se pueden utilizar fácilmente en campo y que podrían ser útiles para evaluar la calidad del crecimiento en el ámbito clínico junto con la antropometría. Uno de estos métodos es la bioimpedancia eléctrica, la cual es rápida y fácil de medir, y se ha aplicado en muchos estudios en diversas poblaciones, desde recién nacidos prematuros hasta adultos mayores (Liu, 2011). Sin embargo, la bioimpedancia eléctrica es un método estimativo que depende a su vez de los métodos con los que se le valida.

ANTECEDENTES

Los problemas de nutrición en México y el mundo

Los problemas de nutrición son una doble carga que incluye la desnutrición y la alimentación excesiva. La mala nutrición, en cualquiera de sus dos formas, repercute directamente en la salud de los menores, así como también en su desarrollo y vida futura (OPS, 2002).

De acuerdo con la última Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2012) se estima que en México el 2.8% de los niños menores de 5 años presentan bajo peso y el 13.6% presenta baja talla o desmedro, así como también el 1.6% sufre desnutrición aguda o emaciación; cifras que han ido a la baja con respecto a la primera Encuesta Nacional de Nutrición (ENN) de 1988.

Por otro lado, el sobrepeso y obesidad han ido en aumento. Las cifras actuales indican que están presentes en 9.7% de niños menores de 5 años y que los estados principalmente afectados son los del norte de la República, como Sonora. En estos estados se estima que existe un 12% de niños con obesidad y sobrepeso (ENSANUT, 2006).

Consecuencias de la desnutrición a largo plazo

La desnutrición en niños pequeños afecta la salud en ese momento, y sobre todo, si no se atiende a tiempo, existe la posibilidad de afectar el desarrollo futuro, causando daños en el sistema nervioso y otros órganos en la edad adulta (Parra y cols., 2003).

Entre las afecciones que pueden padecer los niños con desnutrición, están el retraso en el desarrollo motor, en la coordinación muscular y el lenguaje, la disminución en la capacidad cognoscitiva y el bajo rendimiento escolar (Parra y cols., 2003, de Onis y cols., 2000). Además, estos niños suelen tener mayor riesgo a presentar cuadros diarreicos y enfermedades infecciosas, como la neumonía (de Onis y cols., 2000).

El retraso en el crecimiento (baja talla o longitud para la edad), se asocia con deficiencias en el aprovechamiento escolar (Walkers y cols. 2007), y también se relaciona con deficiencia funcional en la edad adulta y una disminución en la capacidad de trabajo, y por lo tanto, en el ingreso económico (de Onis y cols. 2000). Varios autores (de Onis y cols. 2000) lo mencionan como un ciclo, llevando a los descendientes de estos niños a padecer el mismo futuro de pobreza que sus padres, por lo tanto, desnutrición.

La evaluación del estado nutricio en lactantes y niños pequeños

La evaluación del estado nutricio involucra todas aquellas mediciones y clasificaciones por medio de las cuales se puede diagnosticar nutricionalmente el estado del o los sujetos medidos (Suverza A, Haua K, 2010).

La evaluación más sencilla se lleva a cabo por la antropometría; sin embargo, en ocasiones no es suficiente, porque en algunas enfermedades, como la obesidad y la desnutrición, la distribución de la composición corporal es diferente a la de los sujetos sanos. La composición corporal es importante porque está asociada con el progreso clínico y la respuesta al tratamiento en las enfermedades mencionadas y otras, ya que muchas veces no se reflejan los cambios en el peso, pero sí en la grasa corporal o en el agua corporal total (Wells, 2008).

Antropometría

La antropometría es la base del diagnóstico y evaluación del estado nutricio por medio de la cual se obtendrán los datos más relevantes. Se encarga de la medición de las dimensiones físicas corporales, como el peso, la longitud o talla, los perímetros o circunferencias, etcétera (Suverza A, Haua K, 2010).

El peso es la medición más crítica debido a que este refleja directamente la cantidad de masa (tanto masa grasa como masa libre de grasa), y por consiguiente la cantidad de alimento

que consume el individuo y principalmente el estado nutricional en corto tiempo (Suverza A, Haua K, 2010).

La longitud o talla es también una de las medidas antropométricas más importantes, ya que una carencia de nutrientes a largo plazo se ve reflejada en una menor longitud de los niños, y posteriormente en baja talla en la edad adulta (Suverza A, Haua K, 2010).

Existen distintos índices que se construyen a partir de las mediciones antropométricas y que son útiles para evaluar el estado de nutrición actual y pasado. El peso para la edad refleja el peso corporal en relación a la edad del niño, y aunque no permite distinguir si una anomalía en el peso se debe a un problema crónico o agudo, sí puede ser un signo de advertencia de desnutrición en el niño (OPS, 2002).

Por otra parte, la longitud o talla para la edad refleja el crecimiento alcanzado según la edad del niño en el momento de la evaluación (OPS, 2002). Este indicador permite identificar niños con riesgo a tener talla baja, que puede deberse a una exposición prolongada de aportes insuficientes de nutrientes, enfermedades u otros factores. Este índice es el indicador de desnutrición crónica y talla alta.

El peso para la longitud, refleja la armonía del crecimiento al asociar la ganancia de peso en concordancia con la ganancia de talla (OPS, 2002). Permite identificar a niños que tienden a una ganancia exagerada o deficitaria de peso en relación a la talla, es decir, sobrepeso u obesidad; o con tendencia a la emaciación. Si existe un peso bajo para la talla, nos indica una reducción reciente de la ingesta de alimentos o una enfermedad. Es el indicador de desnutrición aguda.

El perímetro cefálico para la edad en niños refleja el crecimiento del cerebro, especialmente durante el primer año de vida, y debido a que el crecimiento disminuye con el tiempo, sólo debe medirse hasta los 36 meses de edad (Suverza y Haua, 2010). Es un indicador del desarrollo neurológico a partir de la evaluación indirecta de masa cerebral (Cárdenas y cols. 2005). Existe evidencia que sugiere una correlación entre el perímetro cefálico y la inteligencia, cuando el perímetro cefálico se encuentra en una distribución normal (2 desviaciones estándar de la media), y también se sabe que cuando es mayor a la distribución normal hay una mayor incidencia de problemas de neurodesarrollo (Jaffe y cols, 1992). En los recién nacidos a término se espera que el perímetro cefálico aumente en promedio 0.5 cm a la semana durante los primeros 3 meses de vida; si el aumento es mayor a 1.25 cm se relaciona

con problemas como hidrocefalia o hemorragia intraventricular. Por el contrario, si el aumento es menor se puede asociar con otro tipo de problemas neurológicos como la microcefalia (Cárdenas y cols. 2005).

El perímetro del punto medio del brazo en relación a la edad es un indicador indirecto de desnutrición severa, ya que una medición menor a 115 mm se relaciona con presencia de emaciación grave en niños de 6 a 60 meses (OMS, 2009). Esta medición es un método no invasivo, fácil de realizar, económico y rápido, por lo cual es un método práctico para evaluaciones nutricias en campo. Se considera un predictor de mortalidad y un indicador de riesgo poblacional (Suverza y Haua, 2010).

En el año 2006 la Organización Mundial de la Salud publicó nuevos estándares de crecimiento generados a partir de un estudio multicéntrico donde se recabaron datos antropométricos de más de 8,000 niños de 6 países (Brasil, Ghana, India, Noruega, Omán y Estados Unidos) para su aplicación internacional. El fundamento de estos nuevos estándares internacionales es que todos los niños menores de 5 años que han recibido atención médica, materna y social adecuada presentan un crecimiento similar, independientemente de la región o país en donde vivan (OMS, 2006). Con los datos recabados, la OMS generó curvas de crecimiento de 0 a 5 años para los indicadores peso para la edad (P/E), longitud o talla para la edad (L/E ó T/E), peso para la longitud (P/L), perímetro cefálico para la edad (PC/E), perímetro de punto medio del brazo para la edad (PPMB/E), pliegue subescapular para la edad y pliegue tricípital para la edad, que se utilizan actualmente para evaluar el crecimiento infantil en muchos países del mundo.

Composición Corporal

La medición de la composición corporal es de gran ayuda para determinar cuánto del peso corporal corresponde a masa grasa (MG), masa libre de grasa (MLG), agua corporal total (ACT) y masa mineral ósea (MMO) a partir de los datos primarios antropométricos, y evaluar la calidad del crecimiento desde diferentes enfoques.

Con los cambios que han ocurrido en los últimos años en la alimentación y el estilo de vida, tanto la obesidad como la desnutrición son problemas que podemos observar a nuestro alrededor, causando riesgo de enfermedades a futuro. Debido a esto, es importante conocer el estado nutricional de las personas por medio de evaluación de la composición corporal (OIEA, 2009).

El medir la composición corporal nos da mayor información que la que nos otorgan sólo las medidas antropométricas, las cuales son buenos indicadores para detectar enfermedades; sin embargo, no nos dan mucha información acerca de las respuestas al tratamiento (estado de hidratación, pérdida muscular, pérdida de grasa), ni del riesgo real de padecer enfermedades cardiovasculares, hipertensión y diabetes tipo 2 (Wells y Fewtrell, 2008).

En 2003, Yajnik y colaboradores realizaron una investigación en donde se puede observar la importancia de la composición corporal. Ellos analizaron la composición corporal y midieron el peso, longitud y otros indicadores antropométricos en 631 niños a término de la India y de 338 niños a término de Inglaterra, y encontraron que a pesar de ser más pequeños en todas las mediciones antropométricas, los niños de la India presentaron mayor adiposidad (a pesar de parecer delgados) y esto los predispone a padecer diabetes.

Modelos multicompartmentales

Existen varios niveles en los que se puede describir la composición corporal que son: atómico, molecular, celular, tisular y cuerpo completo (Figura 1) (Heymsfield y cols, 2005). La suma de los componentes en cada nivel es igual al peso corporal. De estos modelos el más utilizado es el nivel molecular.

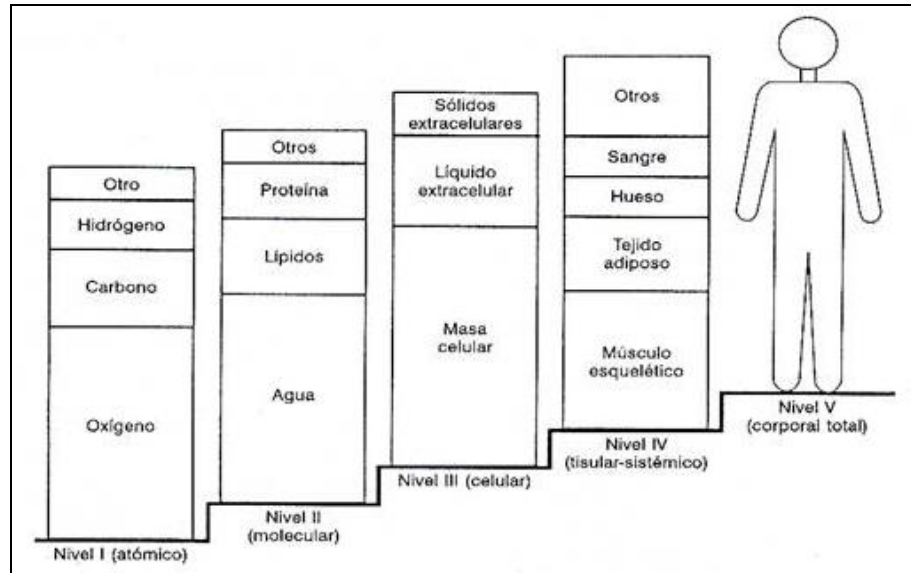


Figura 1. Modelo de cinco niveles de composición corporal (Heymsfield y cols, 2005).

El análisis de cadáveres se considera como el estándar de oro para el análisis de la composición corporal, y ninguna técnica *in vivo* ha podido alcanzar su exactitud, a excepción de los modelos multicompartmentales, que pueden actuar como métodos de referencia (Wells y Fewtrell, 2006). Este análisis divide al cuerpo en cinco componentes: grasa, agua corporal total, minerales óseos, minerales no óseos y proteína (Figura 2), y en ocasiones también se incluye el glucógeno.

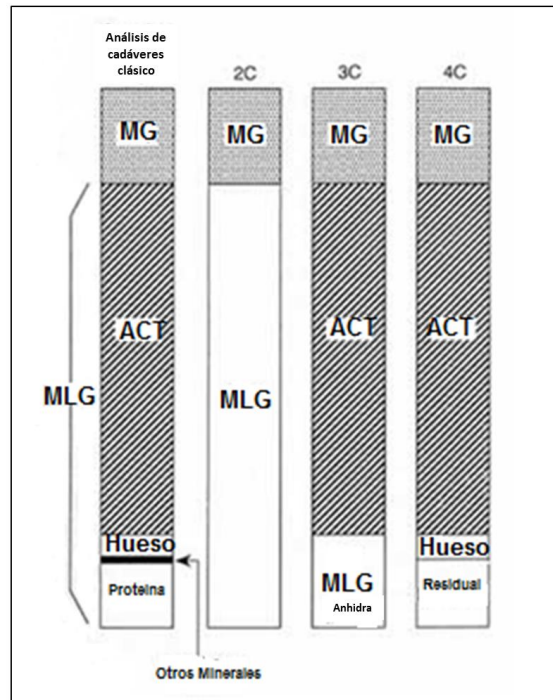


Figura 2. Ejemplos de modelos moleculares de varios compartimentos y sus componentes (Heymsfield y cols, 2005).

De los modelos moleculares, el más utilizado para describir la composición corporal es el modelo de 2 compartimentos, y se deriva del modelo del peso corporal ($\text{Peso} = \text{MG} + \text{MLG}$) y del modelo del volumen corporal ($\text{Volumen} = \text{MG}/0.9 + \text{MLG}/1.1$) (Heymsfield y cols, 2005); es decir, divide al cuerpo en masa grasa (MG) y en masa libre de grasa (MLG). Este modelo puede obtenerse mediante la medición de la densidad corporal con hidrodensitometría, con pletismografía por desplazamiento de aire o con la medición de pliegues cutáneos para obtener mediante algoritmos la MG, y por diferencia, la MLG.

En el modelo de 3 compartimentos el peso corporal está fraccionado en MG + agua corporal total (ACT) + MLG-anhidra (es decir la masa que no corresponde a la grasa y que carece de agua). La MG puede obtenerse de las maneras antes mencionadas y el agua corporal total (ACT) puede medirse con métodos como la dilución con óxido de deuterio. Otra forma de obtener un modelo de 3 compartimentos es mediante una medición con absorciometría dual de rayos X (DXA); estos equipos miden, al mismo tiempo, masa mineral

ósea (MMO), grasa (material insoluble en agua) y masa magra blanda (MMB) (Heymsfield y cols. 2005).

En los modelos de 4 o más compartimentos se hacen combinaciones de los métodos anteriores (densidad corporal, dilución con D_2O y DXA) para obtener más fracciones del cuerpo: $\text{Peso corporal} = \text{MG} + \text{ACT} + \text{Hueso} + \text{Residual}$ (el resto de los componentes corporales que están incluidos en ninguno de los compartimentos anteriores).

Entre mayor es el número de componentes conocidos de la composición corporal, la semejanza con el análisis de cadáveres es mayor, y por lo tanto hay una mejor predicción de los componentes (Heymsfield y cols, 2005).

Medición de los compartimentos corporales

La medición de los compartimentos corporales en los niños pequeños conlleva retos importantes que la hacen diferente de su medición en los adultos.

Grasa corporal a partir de la densidad corporal (D_b). La medición de la densidad corporal nos ayuda a conocer el porcentaje de masa grasa y de masa libre de grasa, utilizando algoritmos (Siri, 1956; Brozek, 1963).

La D_b se puede obtener con el método de hidrodensitometría. Este método se basa en el principio de Arquímedes para determinar el volumen del cuerpo mediante la medición del peso de un individuo en el agua en comparación con su peso en el aire. Este procedimiento requiere que la persona sea sumergida completamente bajo el agua, midiéndose la cantidad de agua desplazada, la cual es equivalente al volumen de la persona (Benhke, 1942). Este procedimiento es lento, laborioso y presenta dificultades para llevarse a cabo en lactantes, personas de la tercera edad, con discapacidad, entre otros. Por tal motivo, se han desarrollado métodos alternativos que minimicen estas limitantes, como es la pletismografía por desplazamiento de aire. Este método actualmente se considera el estándar de oro y cuenta con 2 versiones, el BOD-POD utilizado para escolares y adultos (Dempster y Aitkens, 1995), y el

PEA-POD, para lactantes hasta 8 kg de peso (Urlando y cols, 2003). Este último permite medir a los niños pequeños casi sin ningún problema, sin importar si lloran o si están en movimiento constante durante la medición, la cual suele ser rápida (Ma y cols, 2004). Sin embargo, no todos tienen acceso a este tipo de equipos y, por ello, se han validado métodos más accesibles para conocer la D_b (Durnin y Womersley, 1974; Weststrate y Deurenberg, 1989). La medición de cuatro pliegues cutáneos (bicipital, tricipital, subescapular y suprailíaco) permite estimar la D_b , y por lo tanto, la composición corporal, por medio de la utilización de fórmulas predictivas (Durnin y Womersley, 1974; Weststrate y Deurenberg, 1989).

Existen varias ecuaciones para obtener la densidad corporal y el porcentaje de grasa mediante la medición de pliegues cutáneos, aunque la mayoría de ellas se utilizan para calcular la densidad en adultos o, en algunos casos, adolescentes también. Por mencionar algunos ejemplos, las fórmulas más conocidas fueron validadas por Durnin y Rahaman, en adolescentes de 13 a 15 años, y por Durnin y Womersley en personas de 16 a 72 años de ambos sexos. En adultos, la ecuación más utilizada para obtener el porcentaje de grasa utilizando la densidad corporal es la de Siri, aunque también es común encontrar que algunos investigadores utilizan la fórmula de Brozek (Siri, 1956; Brozek y cols, 1963).

En 1989, Weststrate y Deurenberg desarrollaron una serie de ecuaciones predictivas de la densidad corporal para lactantes. Una de estas ecuaciones calcula la densidad corporal en niños y niñas de 0 a 2 años de edad, utilizando la edad en meses y el logaritmo de la suma de los pliegues cutáneos bicipital, tricipital, subescapular y suprailíaco. Además, también crearon una ecuación para obtener el porcentaje de grasa a partir de la densidad corporal, que al compararse con la ecuación de Siri dio mejores resultados, ya que con ésta última se obtuvieron porcentajes de grasa mayores a los obtenidos con la fórmula desarrollada.

Es importante mencionar que la medición de pliegues cutáneos en los niños se realiza en los mismos lugares anatómicos que en adultos, con el problema de que en la mayoría de las ocasiones los niños permanecen en movimiento o se alarman durante la medición, lo que podría hacerla complicada.

Agua corporal total (ACT) por dilución con D_2O . El agua es el mayor componente del cuerpo. Al nacer, el cuerpo contiene de 70 a 75% de agua; al crecer, la proporción disminuye a 50-60% en adultos sanos, y a menos de 40% en adultos con obesidad (OIEA, 2010). Si se supone que toda el agua corporal está en la MLG, al conocer el ACT, se puede estimar la

cantidad de MLG, y por diferencia, la MG. El ACT puede medirse utilizando la técnica de dilución de D_2O , y también se puede estimar por bioimpedancia eléctrica (BIA), la cual requiere de una ecuación de predicción específica para la población a medir (OIEA 2010).

El deuterio es un isótopo estable 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 óxido de deuterio (D_2O) 99.8% de pureza. La dosis administrada se mezcla y homogeniza con el agua corporal unas horas después de consumirse (3 horas para lactantes, niños pequeños y adultos) y se puede encontrar en la orina, saliva, sudor y leche materna (Figura 3). Dichos fluidos corporales se utilizan como muestra para medir el enriquecimiento de deuterio por espectrometría de masas (IRMS) o espectrometría de infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR) (OIEA, 2010). La espectrometría por FTIR no es tan sensible como la IRMS, por lo que requiere una cantidad de muestra hasta 10 veces mayor (OIEA, 2010), sin embargo, el costo de los equipos de FTIR es menor, por lo que son equipos más accesibles y más comunes que la IRMS, además de ser más fáciles de operar, ya que no requieren de personal altamente calificado para su uso.



Figura 3. Método de dilución con óxido de deuterio (OIEA, 2009).

En los lactantes y niños pequeños la dosificación con este isótopo estable se complica debido a que la dosis conocida debe ser ingerida totalmente por los menores, quienes, en

muchas ocasiones, al desconocer el sabor o al sentirse invadidos, suelen no ingerir completamente el D₂O administrado, lo que altera los resultados obtenidos. Además, es difícil cumplir con los requisitos de la técnica que se aplican en los adultos, como lo son no consumir alimentos ni bebidas durante el tiempo de equilibrio, ni realizar actividad física después de la dosificación, por lo que en los niños pequeños es muy importante el control y cuantificación de la ingesta de alimentos, así como la excreción de fluidos (OIEA, 2010).

Masa mineral ósea (MMO) por absorciometría dual de rayos X (DXA). La absorciometría dual de rayos X (DXA) se utiliza habitualmente para medir la densidad mineral ósea y a partir de esta, estimar el riesgo de fractura y osteoporosis, además se puede utilizar para analizar la composición corporal (Lorente Ramos y cols. 2009).

DXA es una técnica de imagen de rayos X que se utiliza para separar la masa de un material en presencia de otro conociendo su atenuación de rayos X a diferentes energías (OIEA, 2010). Es un método preciso y exacto para cuantificar la densidad mineral ósea y la composición corporal. El sistema de DXA crea una imagen plana (dos dimensiones) por la combinación de atenuaciones de baja y alta energía.

El equipo define la composición corporal en tres materiales con atenuación de rayos X específica: masa mineral ósea (MMO), lípidos (triglicéridos, fosfolípidos, membranas, etc.) y masa magra blanda (MMB). Estos tres componentes se cuantifican en cada pixel en la imagen, y se clasifican en alguno de estos materiales (OIEA, 2010).

Existen varios tipos de equipos de DXA en los que la principal diferencia la constituye la forma en la que la fuente de rayos X emite el haz. Los equipos de primera generación emiten los rayos X en forma de lapicero o *pencil beam*, que cuenta con un único detector y tienen que coleccionar un pixel a la vez, por lo que la medición de cuerpo completo tarda aproximadamente 20 minutos (Lorente Ramos y cols, 2009, OIEA, 2010). El haz de abanico, o *fan beam*, que es registrado por un detector múltiple, colecciona diez o más pixeles al mismo tiempo, por lo que es más rápido que el sistema *pencil beam*, realizando el examen de cuerpo completo en 3 minutos. Por su parte, los equipos *cone beam* utilizan un área de detección que toma imágenes estilo instantáneas (OIEA, 2010).

Una de las condiciones para la medición exitosa de la masa mineral ósea por DXA, es que la persona se encuentre sin movimiento durante la medición, lo que es difícil de lograr en un niño pequeño, por lo que lo ideal es que éstos se encuentren dormidos durante toda la medición (Schmelzle, 2002).

Según estudios realizados en cerdos pequeños y en niños prematuros, el método DXA sobreestima la masa grasa, pero se declaró útil para cuantificar los cambios en la masa magra corporal, la masa mineral ósea y la masa grasa (Brunton y cols., 1993).

Estudios de referencia en lactantes y niños pequeños

Samuel J. Fomon y cols. (1982), publicaron tablas de referencia de composición corporal de niños desde el nacimiento hasta los 10 años de edad, como también lo hizo Nancy Butte y cols. (2000), quienes proporcionaron valores de referencia de composición corporal por métodos multicompartamentales para niños de 0.5 a 24 meses (Tabla 1). Fomon midió el porcentaje de grasa utilizando el método de dilución con D_2O , en diferentes niños de referencia y extrapolando sus datos a las demás edades, además comprobó que la suma de los pliegues subescapular y suprailiaco es proporcional al porcentaje de grasa (Fomon y cols. 1982). Butte y cols. (2000) realizaron mediciones en 76 niños, y estimaron su composición corporal por medio de las mediciones de ACT (por dilución con D_2O), potasio corporal total (TBK) y masa mineral ósea (por DXA). Ellos encontraron un mayor porcentaje de MLG en niños de 0.5 a 18 meses de edad, el porcentaje de grasa aumentó entre los 0.5 y 6 meses y después disminuyó. Comparado con los resultados de Fomon, Butte y cols. encontraron valores mayores de porcentaje de grasa en los niños de la misma edad, sin importar el sexo, aun siendo niños del mismo país, pero con una diferencia de 18 años en los estudios.

Por otra parte, en los niños pequeños, la masa libre de grasa contiene más agua, menos proteína y menos minerales que en los adultos, lo que significa que la densidad de la masa libre de grasa es menor en niños que en adultos (Fomon y cols., 1983; Weststrate y Deurenberg, 1989).

Tabla 1. Porcentaje de grasa (como fracción del peso corporal) de referencia de niños de 0.5 meses a 24 meses (adaptado de Butte y cols, 2000).

	Niños	Niñas
Edad	Grasa (%)	Grasa (%)
0.5 meses	11.4 ± 8.0	14.2 ± 9.0
3 meses	30.2 ± 4.0	31.5 ± 5.6
6 meses	29.1 ± 4.7	32.0 ± 4.4
9 meses	25.7 ± 5.2	28.8 ± 5.0
12 meses	25.6 ± 4.0	27.6 ± 4.3
18 meses	24.5 ± 6.0	26.3 ± 4.4
24 meses	25.4 ± 4.7	25.4 ± 3.9

Media ± desviación estándar.

Estimación de la composición corporal en el campo clínico

Los trabajadores del área de la salud frecuentemente se enfrentan a problemas de escasez de material de trabajo adecuado para llevar a cabo la detección de enfermedades, evaluaciones nutricias y diagnósticos médicos de manera correcta. Algunos de los motivos son el poco acceso a equipos exactos y precisos, los altos costos, la falta de espacio y la falta de entrenamiento para aplicar ciertas técnicas. Debido a esto, se han realizado esfuerzos para que existan métodos de campo que sean accesibles, económicos y fáciles de utilizar, para así mejorar la salud de las personas con acceso limitado a alta tecnología y de escasos recursos.

La bioimpedancia eléctrica (BIA, por sus siglas en inglés) es un método por el cual se puede estimar el agua corporal total (ACT) cuando se valida contra un método de referencia como la dosificación con D₂O (Raghavan y cols., 1998), y es considerado un método de campo

porque existen equipos de BIA portátiles. La BIA adquiere una mayor importancia debido a la necesidad de obtener datos confiables y rápidos con una técnica no invasiva, y a su vez más económica que los métodos de referencia.

La BIA se basa en la conductividad de los diferentes tejidos del cuerpo (Baumgartner, 2005). Los tejidos que contienen grandes cantidades de agua, como la sangre y los músculos, son grandes conductores; mientras que la grasa, los huesos y los pulmones son altamente resistentes. Si se aplica una corriente eléctrica, ésta pasará por los tejidos con menor resistencia, que en el cuerpo humano serán el líquido extracelular, la sangre y los músculos, que forman parte de la masa libre de grasa (MLG).

La estimación del ACT por BIA se basa en que la resistencia entre dos puntos de un cilindro conductor es directamente proporcional a la longitud de éste, e inversamente proporcional al área del mismo. Por lo tanto, el volumen de un conductor (en este caso, el ACT) puede deducirse por su longitud y su resistencia. Si se considera que el cuerpo humano está compuesto por 5 cilindros (2 brazos, 2 piernas y el tronco) se puede aplicar este método para medir la resistencia y así obtener el ACT (Patterson y cols., 1988; Baumgartner y cols. 1989).

El ACT genera una idea global del estado en el que se encuentra la cantidad de agua en el cuerpo, aunque en ocasiones es necesario conocer la cantidad de agua que se encuentra dentro de las células o en su exterior. Para esto, existen otro tipo de equipos de bioimpedancia y ecuaciones capaces de diferenciar entre el fluido intracelular y extracelular (Collins y cols., 2013).

El método de BIA puede utilizarse para monitorear el estado de hidratación en neonatos que reciben cuidados intensivos (Tang y cols. 1997), pero también para evaluar el desarrollo y crecimiento de los lactantes que recibieron diferentes tipos de tratamientos (Fjeld C, Schoeller A y Brown K, 1989), en los cuales se requiera saber si la ganancia en peso es aumento de ACT, MLG o MG.

Modelos predictivos para obtener ACT por métodos de campo. Para estimar el ACT de una persona, es necesario el uso de ecuaciones específicas para una población, y dichas ecuaciones requieren ser validadas con métodos de referencia, así como lo hicieron Carla Fjeld y cols. (1990), quienes realizaron mediciones en 44 niños peruanos de 3 a 30 meses de edad. El método de referencia que utilizaron fue la dilución con ^{18}O , y al dividir a los niños en dos grupos (uno para el desarrollo de la ecuación y otro para validación) desarrollaron una fórmula

para poder calcular los kilogramos de ACT en ese grupo de niños utilizando el peso, el índice de impedancia ($\text{talla}^2/\text{impedancia}$) y el peso corporal.

Wells y cols. (2005) también desarrollaron una ecuación para el cálculo del agua corporal total, con la diferencia de que ellos no utilizaron bioimpedancia eléctrica para la elaboración de la fórmula, si no que ellos se basaron en la utilidad del peso y la talla corporales para facilitar aún más el cálculo rápido del compartimento. Ellos midieron a 672 sujetos, desde menores de un año hasta 19 años, y generaron nuevas ecuaciones, debido a que al analizar varias publicadas anteriormente, existía una sobreestimación del ACT sobre todo en lactantes.

Muchos autores han desarrollado algoritmos para la predicción de diferentes compartimentos (ACT, MG, MLG) tanto en porcentaje como en kilogramos, buscando ser más específicos en diferentes lugares del mundo, con diferentes etnias, edades y sexo, para aumentar la accesibilidad a los métodos de composición corporal multicompartimentales sin la necesidad de hacer grandes gastos o sin necesitar grandes equipos.

JUSTIFICACIÓN

Los problemas de nutrición infantil son un tema a tratar en todo el mundo, y México no es la excepción, ya que, tanto la desnutrición como los problemas de exceso de peso están presentes en nuestro país (ENSANUT, 2012). Por tal motivo, es importante llevar a cabo una adecuada evaluación nutricia de los niños pequeños para así tener un mejor control de su estado de salud, debido a que la desnutrición y el sobrepeso son detonantes para el padecimiento de otras enfermedades y afectan el desarrollo adecuado en los lactantes, afectando, también, la salud en la etapa adulta.

Es importante mencionar que la evaluación del estado nutricional en niños pequeños tiene diferencias a las del adulto, sobre todo cuando se trata de composición corporal, donde los valores que son normales para adultos varían dependiendo de la edad de los niños. Por lo tanto, es vital conocer las técnicas y valores normales en esta etapa de la vida y así hacer una evaluación del estado nutricional correcta, para poder llevar a cabo un tratamiento exitoso.

Además de conocer los métodos, es necesario el desarrollo de técnicas accesibles para la mayoría de la población, ya que, desgraciadamente, no todas están disponibles en el ámbito clínico. Es importante entonces brindar alternativas para permitir la adecuada clasificación del estado nutricional en los niños de nuestra población, mediante el uso de métodos estandarizados.

Por ello, el presente trabajo aborda tanto la evaluación nutricional, la composición corporal y el desarrollo de alternativas para llevar a cabo una adecuada clasificación del estado de salud de los niños de nuestra población, como base para proporcionar un tratamiento adecuado y mejorar su estado de salud.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado nutricional y la composición corporal por una estrategia multicompartamental combinando diferentes métodos en niños de 3 a 24 meses del municipio de Hermosillo, Sonora.

Objetivos específicos

- Evaluar el estado nutricional de niños pequeños de 3 a 24 meses según sus datos antropométricos.
- Determinar la grasa corporal en este grupo a través del agua corporal total, el contenido mineral óseo y la densidad corporal aplicando modelos multicompartamentales.
- Con base en los modelos anteriores, generar los mejores algoritmos para predecir la composición corporal por bioimpedancia eléctrica y/o antropometría, y así estimar la masa grasa y masa libre de grasa.

METODOLOGÍA

Sujetos

Los sujetos de estudio fueron 68 niños a término, sanos y con desnutrición (según los estándares de la OMS, 2006) entre 3 a 24 meses, que habitan en el área agrícola o urbana del municipio de Hermosillo.

Reclutamiento de voluntarios. Se llevó a cabo en el Hospital Infantil del Estado de Sonora (HIES), de dos maneras, una de ellas fue por medio de la canalización de los pediatras de consulta externa, y otra, invitando a las mamás que se encontraban en los pasillos y la sala de espera del hospital. Se les dio una breve explicación de los procedimientos a realizar y se les otorgó un tríptico informativo, el cual contenía información sobre las mediciones que se le realizarían al lactante. A su vez, en el Poblado Miguel Alemán, se asistió a reuniones del programa gubernamental “Oportunidades” para invitar a las madres que estuvieran interesadas en el estudio. Se contó también con el apoyo del personal médico del Centro de Salud Rural Miguel Alemán para invitar a sus pacientes de consulta externa.

A los interesados, se les tomaron sus datos de localización. Para concretar las citas, se realizaron llamadas telefónicas a los interesados, para asignarles una fecha y explicarles de nuevo el procedimiento a seguir. También se resolvieron dudas de los padres acerca de las mediciones.

El protocolo fue aprobado por el Comité de Bioética e Investigación del Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Sonora y del Hospital Infantil del Estado de Sonora (HIES). A los padres se les proporcionó un formato de Consentimiento Informado para permitir la participación de sus hijos en este estudio (Anexo 1).

Diseño experimental

Este estudio tuvo un diseño transversal, con un muestreo por conveniencia.

Métodos

Todas las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de la Universidad de Sonora, Campus Hermosillo.

Evaluación antropométrica del estado nutricional

Peso. La medición de peso se realizó con una balanza marca SECA mod. 728. (Seca GmbH & Co., Hamburgo, Alemania, capacidad 20 ± 0.02 kg) (Figura 4). Los lactantes fueron colocados sobre la balanza, sin ropa y sin pañal cuidando que todo su cuerpo se encontrara dentro de la balanza (Suverza y Haua, 2010).



Figura 4. Medición del peso corporal en lactantes con balanza pediátrica.

Longitud. La longitud se midió con un infantómetro marca SECA mod. 416. (Seca GmbH & Co., Hamburgo, Alemania, capacidad 33-100 ± 0.01 cm). Se colocó a los bebés en posición decúbito supino cuidando que la cabeza se encontrara en plano de Frankfurt y tocando la parte superior del infantómetro, que las piernas estuvieran totalmente rectas y que la planta del pie tocara la barra móvil del aparato (Figura 5) (Suverza y Haua, 2010).



Figura 5. Medición de longitud en lactantes con infantómetro

Perímetro cefálico (PC). La medición se realizó con una cinta métrica de fibra de vidrio Gulick, con la cabeza del niño libre de cualquier objeto; la cinta se colocó en el perímetro máximo de la cabeza, pasando por la cresta supraorbital y por el occipucio. La cinta se colocó a la misma altura en ambos lados de la cabeza (Suverza y Haua, 2010).

Perímetro del punto medio del brazo (PPMB). Esta medición se tomó en el punto medio del brazo, para ello se dobló el brazo en ángulo de 90° y se mantuvo pegado al tronco. Se tomó como referencia el punto medio entre el acromion (hombro) y el olecranon (codo) en la parte externa del brazo izquierdo. Se extendió y se rodeó el brazo con la cinta en el punto indicado, y una vez lograda la posición correcta se realizó la lectura (Suverza y Haua, 2010).

Todas las mediciones anteriores se realizaron por duplicado, y se tomó la media de cada una de ellas.

Los datos antropométricos se analizaron con ayuda del programa WHO Anthro 3.2.2, el cual nos permitió visualizar el estado nutricional de los niños mediante las tablas de crecimiento de la OMS (2006); los índices que se analizaron fueron:

- Peso para la edad (P/E)
- Longitud para la edad (L/E)
- Peso para la longitud (P/L)
- IMC para la edad (IMC/E)
- Perímetro cefálico para la edad (PC/E)
- Perímetro del punto medio del brazo para la edad (PPMB/E)
- Pliegues tricúspital y subescapular para la edad.

Se consideró el puntaje Z de cada uno de ellos para la clasificación de los sujetos según la Tabla 2.

En la Tabla 3 se indican los puntos de corte y el diagnóstico correspondiente según el puntaje Z en los diferentes índices a analizar. Se consideró normal o sano cuando el índice se encontró entre -2 y +2 (OMS, 2006).

Al finalizar las mediciones se les realizó una encuesta a los padres o tutores de los participantes, para conocer más sobre su estado de salud y seguridad alimentaria (Anexo 2).

Tabla 2. Puntos de corte del programa Anthro 3.2.2.

Color	Aplicado a	Puntajes z	Percentiles
Verde	rango numérico	≥ -1 y $\leq +1$ DE	
	línea en la gráfica	Mediana	Percentil 50
Dorado	rango numérico	≥ -2 y < -1 DE o $> +1$ y $\leq +2$ DE	
	línea en la gráfica	-1 DE y $+1$ DE	Percentiles 15 y 85
Rojo	rango numérico	≥ -3 y < -2 DE o $> +2$ y $\leq +3$ DE	
	línea en la gráfica	-2 DE y $+2$ DE	Percentiles 3 y 97
Negro	rango numérico	< -3 ó $> +3$ DE	
	línea en la gráfica	-3 DE y $+3$ DE	NA*

Abreviaturas: DE, desviación estándar; NA, no aplica.

Tabla 3. Puntos de corte y clasificación del estado nutricional del programa Anthro 3.2.2

Puntaje Z	Talla-Edad	Peso-Edad	Peso-Talla	IMC-Edad
Arriba de 3			Obesidad	Obesidad
Arriba de 2			Sobrepeso	Sobrepeso
Arriba de 1			Posible riesgo de sobrepeso	Posible riesgo de sobrepeso
0 (media)				
Debajo de -1	Riesgo	Riesgo	Riesgo	Riesgo
Debajo de -2	Retraso de crecimiento	Bajo peso	Emaciación	Emaciación
Debajo de -3	Retraso de crecimiento severo	Bajo peso severo	Emaciación severa	Emaciación

Abreviaturas: IMC-Edad, índice de masa corporal para la edad.

Composición Corporal

Grasa corporal a partir de la densidad corporal (D_b). Para conocer la D_b se midieron los pliegues cutáneos bicipital, tricipital, subescapular y suprailiaco, y se utilizaron las fórmulas de Weststrate y Deurenberg de 1989.

Pliegue bicipital. Una vez que se indicó el punto medio del brazo izquierdo para la medición del PPMB, con el brazo relajado en posición vertical, se colocaron los dedos índice y pulgar 1 cm arriba de la marca para tomar el pliegue. Se colocó un plicómetro Harpenden HSB-BI (Baty International Ltd, West Sussex, UK, rango 80.00 ± 0.20 mm) en posición perpendicular y se tomó la medida (Suverza y Haa, 2010).

Pliegue tricipital. Una vez que se indicó el punto medio del brazo izquierdo para la medición del PPMB, con el brazo relajado en posición vertical, se colocaron los dedos índice y pulgar 1 cm arriba de la marca para tomar el pliegue a medir en el tríceps. Se colocó el plicómetro en posición perpendicular y se tomó la medida (Suverza y Haa, 2010).

Pliegue subescapular. Se midió en el sitio marcado a 2 cm debajo de la escápula y 1 cm hacia la parte exterior del cuerpo. El plicómetro se colocó de manera diagonal siguiendo la línea de la escápula (Figura 6). Una vez en la posición adecuada se tomó la medida (Suverza y Haa, 2010).

Pliegue suprailiaco. Se tomó como punto de referencia la cresta iliaca del lado izquierdo. Para realizar la medición nos desplazamos 1 cm hacia adentro (hacia la cicatriz umbilical) y 1 cm hacia arriba. El plicómetro se colocó de manera diagonal siguiendo la línea de la cresta iliaca y se tomó la medida (Suverza y Haa, 2010).



Figura 6. Medición del pliegue subescapular.

Se calculó la densidad corporal con la ecuación de Weststrate y Deurenberg (1989):

$$\text{Densidad corporal } (D_b) = \{1.1235 + (0.0016 [\text{edad en meses}]^{0.5}) - 0.0719 \log (\text{suma de pliegues: tricipital, bicipital, subescapular y suprailiaco en mm})\}$$

Este valor se utilizó para el cálculo del porcentaje de grasa corporal, cuya fórmula también fue desarrollada por Weststrate y Deurenberg (1989):

$$\text{Porcentaje de grasa por pliegues cutáneos (\%)} = \{ \{585 - 4.7 [\text{edad en meses}]^{0.5} \} / D_b \} - \{550 - 5.1 [\text{edad en meses}]^{0.5} \}$$

Absorciometría Dual de Rayos X (DXA). La medición se realizó con el equipo QDR Hologic Discovery A (Hologic, Inc. Bedford, MA, EUA), en posición de decúbito supino con brazos y piernas separadas. La medición se realizó mientras el bebé se encontraba dormido para disminuir la posibilidad de movimiento. El sujeto no debía de portar ropa con metal y el pañal debía estar limpio. El sueño del lactante fue fisiológico y no por sedación. La medición duró 2 minutos y se obtuvo una imagen de cuerpo completo del sujeto (Figura 7).

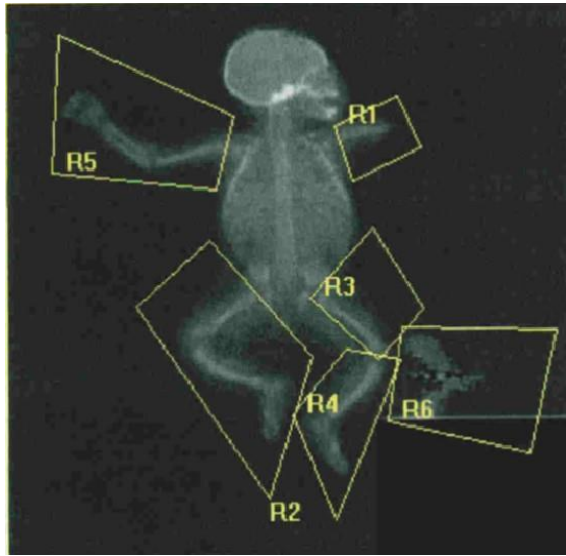


Figura 7. Imagen de una medición en DXA con un niño en movimiento.

Dosificación de óxido de deuterio (D_2O) al 99.8%. Antes de realizar la dosificación 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 bebé y después se extrajo para coleccionar la muestra en un vial criogénico, etiquetado con la clave del voluntario y la hora de la toma de la muestra (Figura 8).



Figura 8. Toma de muestra de saliva de un bebé con un hisopo de algodón.

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 0.6 g D₂O por kg de peso corporal. La dosis a administrar se colocó en una jeringa nueva de 10 mL a la cual se le colocó una sonda y se pesó. Después se colocó la punta de la sonda en la boca del bebé y se administró cuidadosamente para evitar pérdidas (Figura 9). Una vez que el bebé ingirió la dosis, se volvió a pesar la jeringa y la sonda vacía para calcular la cantidad exacta de dosis consumida, y se anotó la hora en la que se consumió la dosis. Se tomaron muestras de saliva 3 horas después de la dosificación, con un hisopo de algodón mediante la técnica descrita anteriormente. En el tiempo transcurrido entre ambas muestras de saliva, se pesaron los alimentos que el bebé consumió, así como los pañales que se utilizaron, para monitorear las entradas y salidas de agua al cuerpo del bebé y ajustar el cálculo final del agua corporal.



Figura 9. Dosificación con D₂O con ayuda de una sonda.

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). Por medio del análisis con FTIR se obtuvo el enriquecimiento de D₂O de las muestras, en mg/kg.

El agua corporal total (ACT) se calculó mediante la siguiente fórmula (OIEA, 2009):

$$ACT = \frac{((\text{Concentración de D}_2\text{O en la dosis}) (\text{Dosis administrada}) / 1.042)}{\text{Enriquecimiento de D}_2\text{O en la muestra de saliva de 3 horas}}$$

Modelos multicompartmentales

El porcentaje de grasa mediante los modelos multicompartmentales se obtuvo por diferentes algoritmos.

3 compartimentos:

Siri 1961

$$\% \text{ Grasa} = (2.118/D_b - 0.78 \text{ ACT} - 1.354) 100$$

Lohman, 1986

$$\% \text{ Grasa} = (6.386/D_b + 3.96M - 6.090) 100$$

4 compartimentos:

Lohman, 1993

$$\% \text{ Grasa} = 100 (2.747/D_b - 0.714 \text{ ACT} + 1.146 M - 2.050)$$

Donde D_b = Densidad corporal, ACT = Agua Corporal Total como una fracción del peso corporal, M = masa mineral ósea como una fracción del peso corporal.

Desarrollo de algoritmos para la estimación de la composición corporal.

Se diseñó una ecuación de bioimpedancia eléctrica y una basada en mediciones antropométricas, las cuales se validaron por medio de dilución con óxido de D_2O y por otros modelos compartimentales, y se eligió la mejor ecuación en cada caso.

Bioimpedancia eléctrica (BIA). Se midió bioimpedancia eléctrica multifrecuencia con un equipo Bodystat Quadscan 4000 (Bodystat Ltd, British Isles, Inglaterra), a 5, 50, 100, 200 kHz. Se colocaron 4 electrodos en el lado derecho del cuerpo de los participantes, 2 en la extremidad superior y 2 en la inferior (Figura 10). Los electrodos de corriente se colocaron en la superficie ventral de la mano y pie, y los electrodos de voltaje en la superficie dorsal de la muñeca y tobillo (Lingwood y cols. 2000), procurando la separación óptima de los electrodos reportada para neonatos de 2.0-2.5 cm (Sidhu y cols, 1994). Se obtuvo la impedancia (Z) a 5, 50, 100 y 200 kHz y la Resistencia (R) y Reactancia (X_c) a 50 kHz.



Figura 10. Medición de bioimpedancia eléctrica.

Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se utilizó el programa NCSS 8 (versión 8.0.14, 2013).

Se realizaron análisis de estadística descriptiva de todas las variables medidas (media, desviación estándar, etc.), pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Martínez-Iglewicz, Kolmogorov-Smirnov, D'Agostino) y pruebas de t de dos muestras independientes para variables paramétricas, y Mann-Whitney U ó Wilcoxon Rank-Sum para diferencias de medianas.

También se hicieron matrices de correlación (correlaciones de Pearson), en donde se observaron las relaciones entre las distintas variables.

Se compararon las medias de los porcentajes de grasa obtenidos por diferentes métodos mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de múltiple comparación Tukey-Kramer.

De ser necesario, se optó por métodos no paramétricos o normalización de las variables por transformación logarítmica.

Para la generación de los modelos predictivos de la composición corporal se utilizaron como variables independientes los datos antropométricos y de BIA, y como variable dependiente la MLG. Se aplicaron métodos de selección multivariada como el de “todas las regresiones posibles” y “regresión múltiple por pasos”, para obtener las variables independientes predictoras de la variable dependiente. Finalmente, se aplicó el análisis de regresión múltiple a las variables con mayor correlación para la obtención de modelos predictivos.

Por último, se llevó a cabo el análisis Bland-Altman para observar el sesgo de las ecuaciones generadas.

Todos los análisis se realizaron con un alfa de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antropometría

Se realizaron mediciones antropométricas en 68 niños nacidos a término del municipio de Hermosillo, de los cuales 34 fueron del sexo femenino y 34 del sexo masculino. Las características antropométricas de los niños se encuentran en la Tabla 4.

Al comparar las características antropométricas entre niños y niñas, se encontró que fueron similares; la única medición que tuvo una diferencia significativa fue el pliegue cutáneo subescapular, el cual fue mayor en las niñas (Tabla 4).

Al analizar el perímetro del punto medio del brazo (PPMB), se obtuvo que en 4 niños fue menor de 11.5 cm. Como se mencionó antes, el PPMB es un indicador de desnutrición aguda, y se considera un predictor de mortalidad (OMS, 2009), esto debido a la relación entre este indicador y las reservas proteicas. En este estudio se logró observar esto, ya que de los niños que presentaron una medida menor de 11.5 cm de PPMB, 3 presentaron algún tipo de desnutrición, mientras que 1 niño tenía un estado nutricional normal.

En la Tabla 5 se observan los índices de crecimiento de niños y niñas según los estándares de la OMS (2006). No hubo diferencia en el estado nutricional entre ambos grupos.

Tabla 4. Características antropométricas de los niños.

	Total (n=68)	Niñas (n=34)	Niños (n=34)	p <
Edad (meses)	7.59 (6.55, 8.80)	7.65 (6.38, 9.16)	7.54 (5.92, 9.60)	NS
Peso (kg)	8.18 ± 1.88	7.98 ± 1.55	8.39 ± 2.16	NS
Longitud (cm)	69.4 (67.7, 71.2)	69.1 ± 6.89	70.5 ± 7.96	NS
Perímetro Cefálico (cm)	43.1 ± 2.39	47.7 ± 2.30	43.5 ± 2.44	NS
PPMB (cm)	12.8 ± 1.24	12.7 ± 1.08	12.9 ± 1.40	NS
Pliegue tripital (mm)	8.45 ± 1.91	8.75 ± 1.88	8.15 ± 1.91	NS
Pliegue bicipital (mm)	6.16 (5.79, 6.55)*	6.63 ± 1.65**	6.03 ± 1.37***	NS
Pliegue subescapular (mm)	7.58 (7.05, 8.16)	8.51 ± 2.72	7.35 ± 1.87	0.05
Pliegue suprailíaco (mm)	5.37 (4.98, 5.78) †	5.77 (5.11, 6.53)***	5.10 ± 1.08***	NS

*n=63; **n=32; ***n=31; † n=62.

Medias ± desviación estándar y media geométrica (IC al 95%). Diferencia de medias calculada por la prueba t-Student al 95% de confianza para variables paramétricas, y Prueba Mann-Whitney U o Wilcoxon Rank-Sum para variables no paramétricas.

Abreviaturas: PPMB, Perímetro del Punto Medio del Brazo; NS, diferencia no significativa.

Tabla 5. Índices de crecimiento de los participantes, según los criterios de la OMS, 2006.

Puntaje Z	Total (n=68)	Niñas (n=34)	Niños (n=34)	p <
Peso/longitud	-0.08 ± 1.09	0.04 ± 0.91	-0.21 ± 1.25	NS
Peso/edad	-0.36 ± 1.21	-0.20 ± 1.12	-0.52 ± 1.28	NS
Longitud/edad	-0.44 ± 1.27	-0.29 ± 1.17	-0.59 ± 1.37	NS
IMC/edad	-0.13 ± 1.10	-0.04 ± -0.90	-0.22 ± 1.28	NS
PC/edad	-0.57 ± 1.07	-0.49 ± 1.00	-0.66 ± 1.15	NS
PPMB/edad	-1.32 ± 1.10	-1.21 ± 1.02	-1.43 ± 1.19	NS
Pliegue tricipital/edad	0.67(0.46, 0.95)	-0.47 ± 0.95	-0.54 ± 1.54	NS
Pliegue subescapular/edad	0.38 ± 1.56	0.61 ± 1.52	0.14 ± 1.59	NS

Medias ± desviación estándar y media geométrica (IC al 95%). Diferencia de medias calculada por la prueba t-Student al 95% de confianza para variables paramétricas, y Prueba Mann-Whitney U o Wilcoxon Rank-Sum para variables no paramétricas.

Abreviaturas: PC, perímetro cefálico; PPMB, Perímetro del Punto Medio del Brazo; IMC, índice de masa corporal; NS, diferencia no significativa.

En cuanto al diagnóstico nutricional, 11 niños (16.1 %) presentaron algún tipo de desnutrición: 1 presentó emaciación (bajo peso para la longitud) (1.46%); 4 tuvieron desmedro (baja longitud para la edad) (5.85%) y a 6 se les diagnosticó ambos tipos (8.78%). Como se mencionó anteriormente, la desnutrición a largo plazo puede ocasionar retraso en el desarrollo motor, en la coordinación muscular y el lenguaje, así como disminución en la capacidad cognoscitiva y bajo rendimiento escolar (Parra y cols., 2003). Esto se relaciona con una disminución en la capacidad de trabajo en la edad adulta, y por lo tanto en el ingreso económico (de Onis y cols. 200). A su vez, 2 niños presentaron sobrepeso (2.94 %) y el resto, (55 niños, 80.88 %) se diagnosticaron con peso y longitud normales para la edad (Figuras 11 y 12).

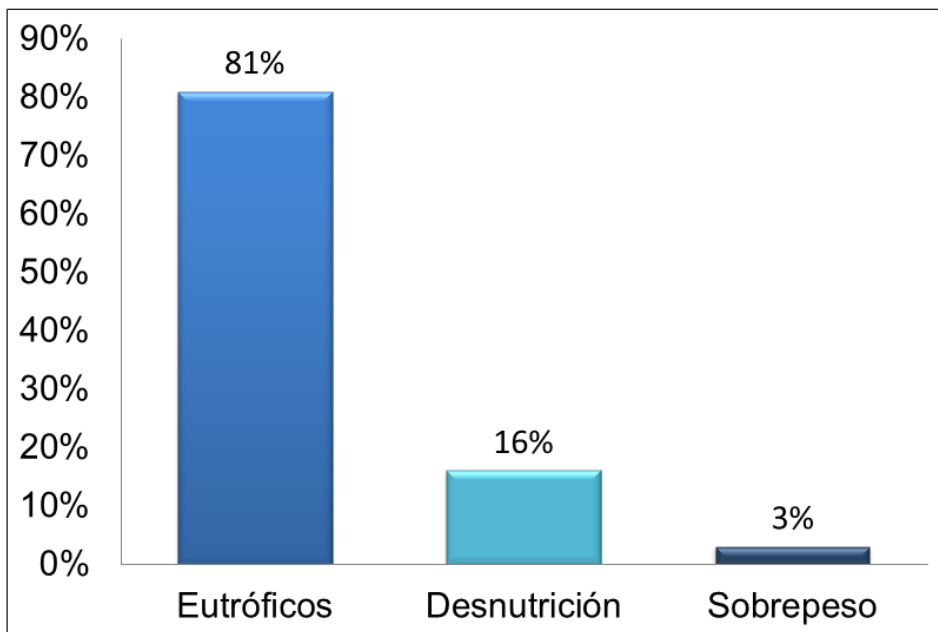


Figura 11. Clasificación de los niños medidos según su estado nutricional.

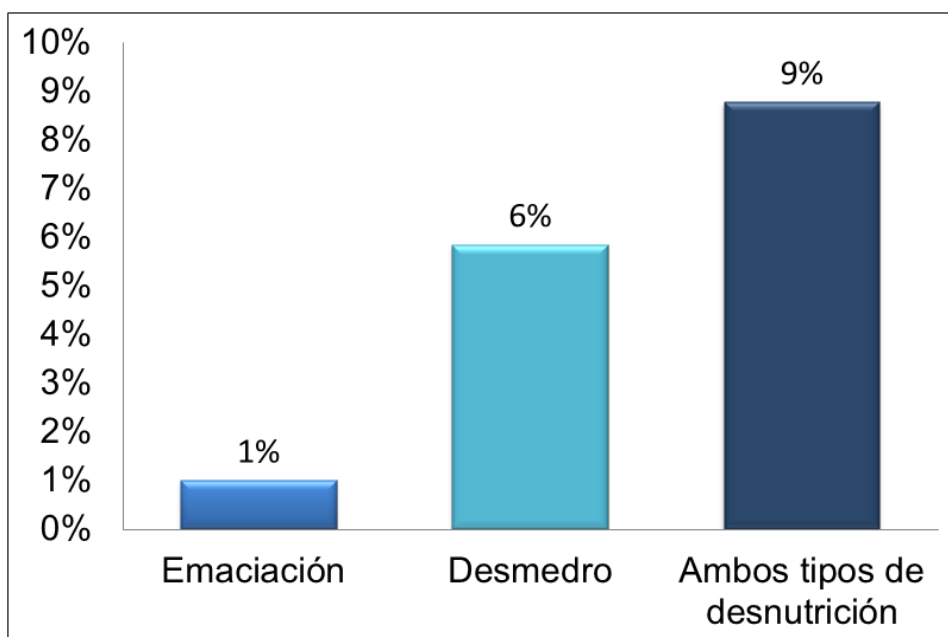


Figura 12. Frecuencia de los diferentes tipos de desnutrición en la muestra.

Se realizaron comparaciones entre los lactantes según su lugar de origen: área agrícola, que corresponde al Poblado Miguel Alemán, y el área urbana, a la ciudad de Hermosillo. Se encontró que los índices antropométricos (peso/longitud, peso/edad, IMC/edad, PPMB/edad, PC/edad, pliegue tricipital/edad, pliegue subescapular/edad) en los lactantes pertenecientes al área urbana, fueron significativamente mayores a los de los lactantes del área agrícola (Tabla 6) a excepción de la longitud/edad en donde no hubo diferencia entre áreas. La edad también fue mayor en los niños pertenecientes al área agrícola ($p < 0.05$).

Tabla 6. Comparación en los índices antropométricos en lactantes del área agrícola y urbana del municipio de Hermosillo, según la OMS, 2006.

Puntaje Z	Urbano (n=32)	Agrícola (n=36)	p <
Peso/longitud	0.29 ± 0.91	-0.42 ± 1.14	0.05
Peso/edad	0.06 ± 1.07	-0.74 ± 1.22	0.05
Longitud/edad	-0.16 ± 1.31	-0.69 ± 1.22	NS
IMC/edad	0.22 ± 0.92	-0.45 ± 1.17	0.05
PC/edad	-0.25 ± 0.96	-0.86 ± 1.11	0.05
PPMB/edad	-0.88 ± 0.84	-1.71 ± 1.18	0.01
Pliegue tricipital/edad	0.13 ± 1.07	-0.68 ± 1.37	0.05
Pliegue subescapular/edad	1.06 ± 1.29	-0.22 ± 1.55	0.001

Medias ± desviación estándar. Diferencia de medias calculada por la prueba t-Student al 95% de confianza. *Abreviaturas:* PC, perímetro cefálico; PPMB, Perímetro del Punto Medio del Brazo; IMC, índice de masa corporal; NS, diferencia no significativa.

En general, el crecimiento y desarrollo de los niños fue mayor en la zona urbana; esto se puede deber a que la muestra de la zona agrícola son personas de escasos recursos que pertenecían al programa Oportunidades, el cual beneficia a población vulnerable. Además, mediante la encuesta realizada a las madres o tutores de los niños evaluados se obtuvieron datos generales de algunos de ellos. Lo principal que se pudo observar fue que el ingreso mensual promedio de las familias participantes de la zona agrícola fue de aproximadamente 2 veces el salario mínimo (VSM) mientras que en la zona urbana las familias recibían un ingreso aproximado de 4 VSM. En México se necesitan 3 salarios mínimos para poder tener acceso a una canasta básica de alimentos completa (Torres, 2002), por lo que se podría suponer que las familias del área agrícola pudieran estar en estado de inseguridad alimentaria (acceso y disponibilidad de alimentos). Se puede suponer que debido a esta diferencia en los salarios, los niños provenientes de la zona agrícola cuentan con menor variedad y acceso a alimentos.

Las madres del área agrícola brindan lactancia al seno materno por un período de 5.8 meses en promedio. El período fue similar en el grupo urbano (6 meses) pero sólo el 57 % de las madres ofertaron lactancia materna.

Composición corporal

De los 68 lactantes que participaron, 42 cumplieron con el requisito de tener todas las mediciones necesarias para el análisis de su composición corporal con múltiples compartimentos. Las características antropométricas de los niños en esta sub-muestra se encuentran en la Tabla 7.

El resto de los niños presentaron problemas en la medición, tales como el abandono del voluntario durante el estudio, la poca colaboración del niño y/o los padres, o el no lograr el sueño fisiológico (lo que hizo imposible la medición del contenido mineral óseo por DXA). Otros participantes fueron excluidos de la muestra debido a que no consumieron completamente la dosis de D₂O; o que después de tomarla la regurgitaron, por lo que su consumo fue incompleto e incuantificable, lo cual puede producir resultados falsos.

Al comparar las características antropométricas de los niños medidos se encontró que tuvieron características similares sin importar el sexo, a excepción del pliegue cutáneo subescapular, el cual fue mayor en niñas que en niños ($p < 0.05$) (Tabla 7).

Tabla 7. Características antropométricas de los niños a los que se les analizó su composición corporal (n=41).

	Total (n=41)	Niñas (n=22)	Niños (n=19)	p <
Edad (m)	7.06 (5.95, 8.38)	7.43 (6.04,9.14)	6.66 (4.92,9.00)	NS
Peso (kg)	7.65 (7.17, 8.16)	7.70 ± 1.56	7.75 (6.97,8.63)	NS
Longitud (cm)	68.0 (66.0,70.0)	67.7 (65.0,70.6)	68.6 ± 6.75	NS
Perímetro cefálico (cm)	42.6 ± 2.29	42.3 ± 2.31	43.0 ± 2.28	NS
PPMB (cm)	12.7 ± 1.12	12.6 ± 1.13	12.8 ± 1.13	NS
Pliegue tricipital (mm)	8.39 ± 1.76	8.68 ± 1.96	8.06 ± 1.49	NS
Pliegue bicipital (mm)	6.39 (5.92,6.90)	6.75 ± 1.70	6.37 ± 1.46	NS
Pliegue subescapular (mm)	8.02 ± 2.37	8.73 ± 2.73	7.2 ± 1.56	0.05
Pliegue suprailiaco (mm)	5.41 (4.99,5.87)	5.62 (4.95,6.39)	5.28 ± 1.08	NS

Medias ± desviación estándar y media geométrica (IC al 95%). Diferencia de medias calculada por la prueba t-Student al 95% de confianza para variables paramétricas, y Prueba Mann-Whitney U o Wilcoxon Rank-Sum. *Abreviaturas:* PPMB, Perímetro del Punto Medio del Brazo; NS, diferencia no significativa.

Para la medición del agua corporal, los lactantes recibieron en promedio 0.63 g de D₂O por kilogramo de peso, con un intervalo de 0.53 a 0.83 g/kg. Esta cantidad fue diferente a la de otros estudios en los que se administraron cantidades mayores, como el de Marti Traver y cols. (2009) que dosificaron con 1 g D₂O/kg a bebés recién nacidos a término, vía oral; o el de Fusch y cols. (1992) donde se utilizaron 2.0 mL D₂O/kg de peso corporal. El nivel de dosificación óptimo para lactantes se discutió ampliamente en las reuniones técnicas del proyecto internacional del OIEA en donde se enmarca el presente trabajo, y que es aplicable en principio, para otros 10 países participantes con protocolos similares. La mayoría de los países decidieron utilizar dosis más elevadas; sin embargo, en las pruebas preliminares para este estudio realizadas en nuestro laboratorio, se observó que con el nivel de dosificación utilizado finalmente en este trabajo se alcanzó el enriquecimiento necesario para la lectura óptima de las muestras por FTIR, que es de 600 a 1500 mg/kg de D₂O (OIEA, 2009). En este estudio se observó un intervalo de enriquecimiento de D₂O en las muestras de 777 a 1410 mg/kg, lo que refuerza que no es necesario administrar una mayor cantidad de dosis de D₂O.

La densidad corporal (D_b) de los niños de este estudio fue de 1.024 ± 0.007 g/mL. Este dato indica que los niños se encuentran entre los valores normales de densidad, que según Butte y cols. (2000) van de 1.007 a 1.026 g/mL en niñas, y de 1.004 a 1.024 g/mL en niños, para las edades de los participantes en este estudio (3 a 24 meses).

El porcentaje de grasa corporal obtenido por los diferentes métodos, se presenta en la Tabla 8, así como su comparación según el sexo de los lactantes. Según los datos obtenidos, se puede observar que el porcentaje de grasa en las niñas, utilizando DXA, es mayor que en los niños ($p < 0.01$). De igual manera, al calcular el porcentaje de grasa con la ecuación de Siri para 3 compartimentos, las niñas presentaron un mayor porcentaje de grasa que los niños ($p < 0.05$).

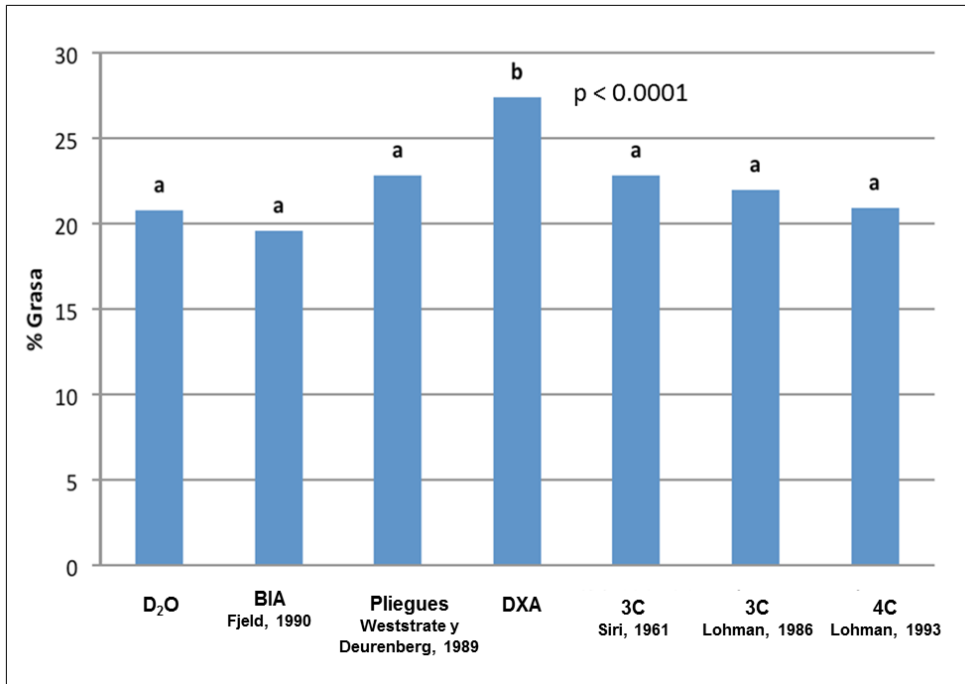
Tabla 8. Porcentajes de grasa corporal según los diferentes métodos utilizados y el sexo de los voluntarios.

% Masa grasa	Total (n=41)	Niñas (n=22)	Niños (n=19)	p <
Dilución D₂O	20.8 ± 5.20	22.5 ± 4.60	18.1 (15.6, 21.0)	NS
BIA Fjeld, 1990	19.6 ± 3.68	20.1 ± 3.14	18.9 ± 4.21	NS
Pliegues Weststrate y Deurenberg, 1989	22.8 ± 3.65	23.5 ± 4.26	22.0 ± 2.65	NS
DXA	27.4 ± 8.42	30.9 ± 8.35	23.4 ± 6.69	0.01
3C Siri, 1961	22.8 ± 4.58	23.8 ± 3.99	20.9 ± 3.97	0.05
3C Lohman, 1986	22.0 ± 4.04	22.5 ± 4.73	21.2 ± 3.07	NS
4C Lohman, 1993	20.9 ± 4.59	21.9 ± 4.16	19.1 ± 3.93	NS

Medias ± desviación estándar y media geométrica (IC al 95%). Diferencia de medias calculada por la prueba T-Student al 95% de confianza para variables paramétricas, y Prueba Mann-Whitney U o Wilcoxon Rank-Sum para variables no paramétricas. El % de Masa Grasa se calculó con: Dilución con D₂O con OIEA, 2009.

Abreviaturas: D₂O, óxido de deuterio; BIA, Bioimpedancia eléctrica; DXA, Absorciometría dual de rayos X; 3C, 3 Compartimentos; 4C, 4 Compartimentos; NS, diferencia no significativa.

Mediante la prueba estadística de Tukey-Kramer se encontró que no existe diferencia entre los porcentajes de grasa de los diferentes métodos, a excepción del porcentaje de grasa obtenido por DXA, ya que este método sobreestima los valores comparados con los demás (Figura 13).



Abreviaturas: D₂O, Óxido de deuterio; BIA, Bioimpedancia eléctrica; DXA, Absorciometría dual de rayos X; 3C, 3 Compartimentos; 4C, 4 Compartimentos.

Figura 13. Diferencia estadística entre los distintos métodos utilizados para medir el porcentaje de grasa (Prueba Tukey-Kramer).

También se realizaron comparaciones del porcentaje de grasa según el estado nutricional de los niños (Tabla 9) y se pudo observar que en general se sigue un patrón en el que los niños con desnutrición presentan menor porcentaje de grasa que los niños eutróficos, con diferencias significativas en los métodos, a excepción del porcentaje de grasa calculado por BIA mediante la ecuación de Fjeld (1990).

Tabla 9. Comparación de los porcentajes de grasa obtenidos por diversos métodos, y según el estado nutricional de los lactantes.

% Masa Grasa	Eutróficos (n=33)	Con desnutrición (n=8)	p <
Dilución D₂O	21.8 ± 4.76	16.7 ± 5.16	0.05
BIA Fjeld, 1990	19.9 ± 3.71	18.1 ± 3.36	NS
Pliegues Weststrate y Deurenberg, 1989	23.6 ± 3.37	19.5 ± 2.89	0.01
DXA	29.0 ± 8.17	20.6 ± 5.96	0.05
3C Siri, 1961	23.4 ± 3.75	18.7 ± 4.06	0.05
3C Lohman, 1986	22.9 ± 3.69	18.1 ± 3.21	0.01
4C Lohman, 1993	21.5 ± 3.78	16.6 ± 4.01	0.01

Medias ± desviación estándar. Diferencia de medias calculada por la prueba T-Student al 95% de confianza. El % de Masa Grasa se calculó con: Dilución con D₂O con OIEA, 2009; BIA con Fjeld, 1990; Pliegues con Weststrate y Deurenberg, 1989.

Abreviaturas: D₂O, óxido de deuterio; BIA, Bioimpedancia eléctrica; DXA, Absorciometría dual de rayos X; 3C, 3 Compartimentos; 4C, 4 Compartimentos; NS, diferencia no significativa.

Se encontró una fuerte relación ($r = 0.96$) entre la variable de peso corporal de los niños (kg) y la masa mineral ósea (g) medida por DXA (Figura 14), comprobándose lo dicho por Koo y cols. en 1998, que la masa ósea aumenta de manera proporcional al peso corporal.

Así mismo, la variable de peso/longitud en puntaje Z se relacionó estrechamente ($r = 0.98$) con la variable IMC/edad en puntaje Z (Figura 15), lo que nos hace preferir el primer índice para realizar un diagnóstico nutricional, debido a que no se necesita realizar cálculos adicionales para obtener el índice de masa corporal (IMC).

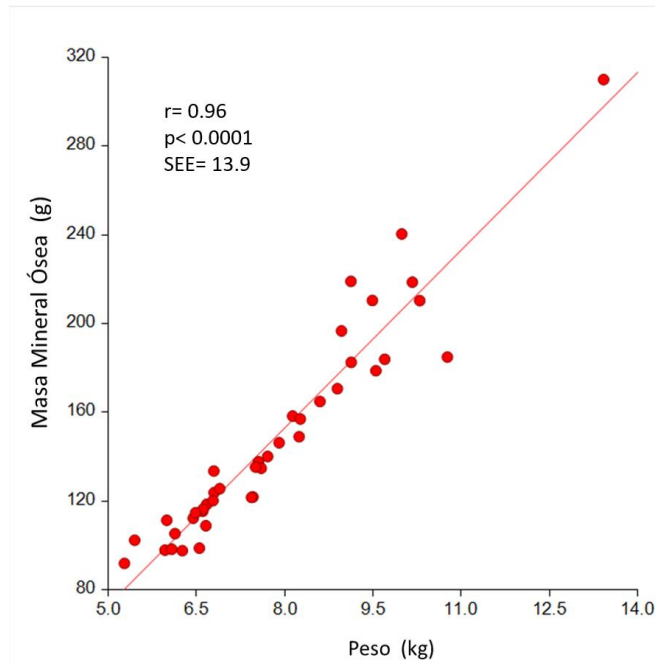


Figura 14. Correlación de la masa mineral ósea medida por DXA vs. el peso corporal.

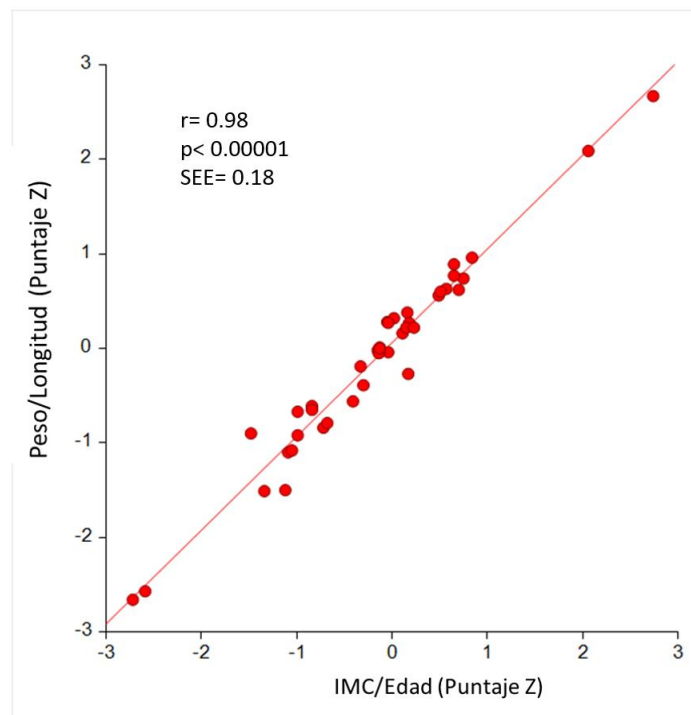


Figura 15. Correlación del puntaje Z del peso para la longitud vs. IMC para la edad obtenido del programa Anthro 3.2.2.

Se observó una correlación de $r = 0.99$ ($p < 0.00001$) entre el porcentaje de masa grasa por la ecuación de Lohman 4C (1993) y por la ecuación de Siri de 3C (1961) (Figura 16). Esto implica que ambas ecuaciones poseen la misma utilidad para calcular el porcentaje de grasa a pesar de tener diferente número de compartimentos, y que el cálculo de este componente por medio de 3 compartimentos (que requiere de menos mediciones) es suficiente para obtener un valor adecuado de grasa corporal.

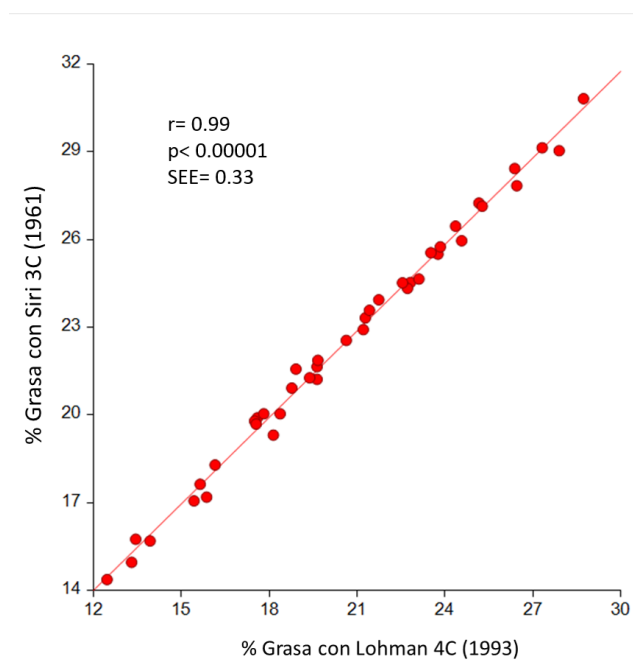


Figura 16. Correlación del porcentaje de grasa corporal obtenido con la ecuación de Siri (1961) de 3 compartimentos y la de Lohman (1993) de 4 compartimentos.

Otras relaciones entre variables que se observaron fueron la correlación entre el porcentaje de masa grasa obtenido por dilución con D_2O y los pliegues cutáneos. Los pliegues subescapular y suprailiaco presentaron las relaciones más altas ($r = 0.64$ y $r = 0.64$ respectivamente, $p < 0.0001$) mientras que el pliegue bicipital no tuvo relación con el porcentaje de grasa corporal (Tabla 10). Como lo mencionan Fomon y cols. (1982) la suma de la medición del pliegue subescapular y suprailiaco es un indicador del porcentaje de grasa obtenido mediante la medición de los cuatro pliegues principales, lo que se confirma en los datos obtenidos en este estudio.

Tabla 10. Correlaciones de Pearson de los distintos pliegues cutáneos con el porcentaje de masa grasa corporal por dilución con D₂O.

Variable	r	p <
Pliegue suprailiaco (mm)	0.64	0.0001
Pliegue subescapular (mm)	0.64	0.0001
Pliegue tricípital (mm)	0.49	0.001
Pliegue bicípital (mm)	0.23	NS

Abreviaturas: NS, no significativo.

Desarrollo de ecuaciones predictivas de la masa libre de grasa

Para el desarrollo de los modelos predictivos se utilizó como variable dependiente la MLG (kg) obtenida a partir de la dilución con D₂O. Algunos algoritmos utilizados hoy en día para el cálculo de la composición corporal predicen el ACT; sin embargo, para poder calcular la MLG estas ecuaciones requieren el factor de hidratación, que es la proporción de agua que contenida en la MLG. Dado que en los niños pequeños este factor de hidratación es dependiente de la edad y el sexo, se decidió utilizar directamente la MLG como variable dependiente. Esto facilita su aplicación cuando los usuarios no tienen fácil acceso a los valores de los factores de hidratación, y permite hacer el cálculo más directo y rápido.

Para el desarrollo del modelo predictivo de la MLG por bioimpedancia eléctrica (BIA) y antropometría, se realizó un análisis estadístico por el método de “Todas las Regresiones Posibles” para encontrar las variables que predicen mejor la MLG. En el caso de nuestra población, los análisis exploratorios preliminares en el total de la muestra (n=41) mostraron que las variables de mayor importancia eran el peso, la edad y el sexo de los lactantes.

La construcción de modelos predictivos de la composición corporal y su validación puede llevarse a cabo desarrollando dicho modelo en una determinada población y probarla en otra similar. Sin embargo, siempre será más práctico tomar una población más grande y partirla de manera aleatoria en 2 grupos iguales. En uno de ellos se desarrolla el modelo, y en el otro se prueba.

En este estudio, se aleatorizó la muestra y se realizó una validación cruzada con el objetivo de construir un modelo predictivo de MLG utilizando BIA. El modelo seleccionó en orden de importancia a las variables: peso, edad, sexo e índice de resistencia (IR). Sin embargo, a diferencia de los modelos de BIA publicados para escolares y adolescentes (Davies y cols., 1988; Ramírez y cols., 2012), adultos (Macías y cols., 2007) y adultos mayores (Valencia y cols., 2003), el IR no fue el principal predictor, sino el último. En este caso, el IR sólo contribuyó con 0.45% a la predicción de la MLG. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 17, donde se observa el incremento de la R^2 con la introducción de cada una de las variables predictoras. El modelo no se conforma al comportamiento de la bioimpedancia eléctrica en humanos, donde la naturaleza del conductor es el cuerpo como cilindro representado por la longitud²/resistencia; pero coincide con lo observado por Dung y colaboradores (2007), quienes intentaron predecir la masa libre de grasa utilizando BIA. Sus resultados fueron los mismos; es decir, la inclusión del índice de impedancia no tuvo la importancia que tiene en los modelos de otros grupos de edad, en donde el IR es siempre el predictor de mayor importancia. En el estudio de Dung y cols., la predicción de la MLG sólo aumentó 0.3% al incluir el índice de impedancia además del peso corporal, de manera muy similar a este estudio (0.45%).

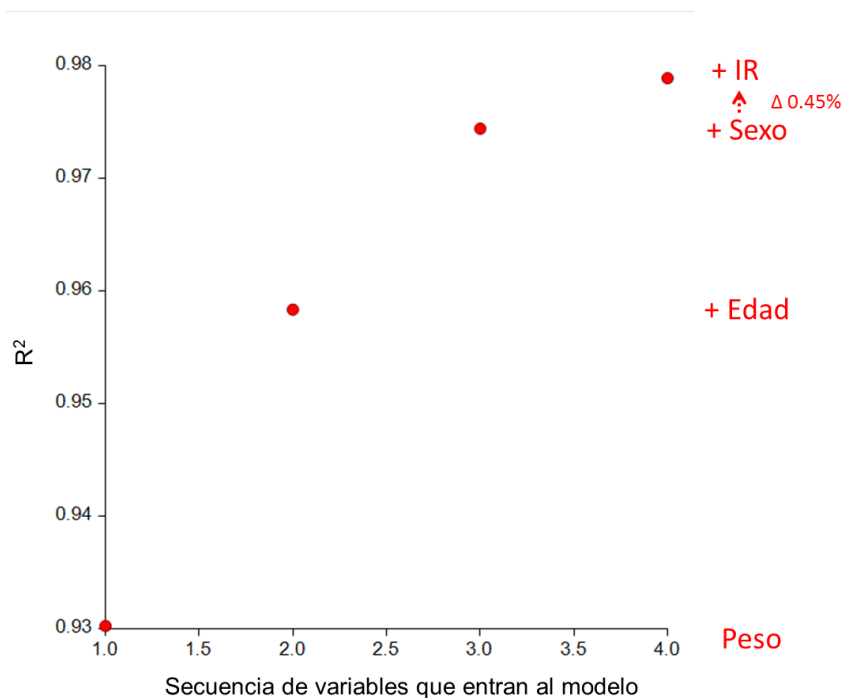


Figura 17. Aumento de la R^2 según la secuencia en la entrada de variables.

En la selección de variables para los modelos basados en bioimpedancia eléctrica y antropometría se observó que la variable de mayor impacto fue el peso corporal. Por medio del análisis estadístico de “Todas las Regresiones Posibles”, el peso como variable predictora independiente mostró una $R^2 = 0.93$, esto coincide con lo observado por otros autores (Tang y cols., 1997; Raghavan y cols., 1998; Lingwood y cols., 2012; Lingwood, 2013), quienes han visto que en niños pequeños el peso es un mejor predictor de la MLG que el índice de impedancia (o de resistencia), y que la inclusión de las variables de BIA no mejora la predicción sobre el peso solamente.

Por todo lo anterior, se decidió desarrollar un modelo predictivo con el uso exclusivo de variables antropométricas. Esto dio como resultado una ecuación con una $R^2 = 0.97$, que solo considera el peso, sexo y edad de los lactantes (Tabla 11).

Se realizaron también ecuaciones predictivas para MLG (kg) por medio de modelos multicompartamentales (ecuaciones de 3C de Siri, 1961; y 4C Lohman, 1993), utilizando las mismas 3 variables del modelo predictivo de antropometría basado en dilución con D_2O (peso, sexo y edad). Se obtuvieron 2 ecuaciones predictivas con una $R^2 = 0.98$ (Tabla 11).

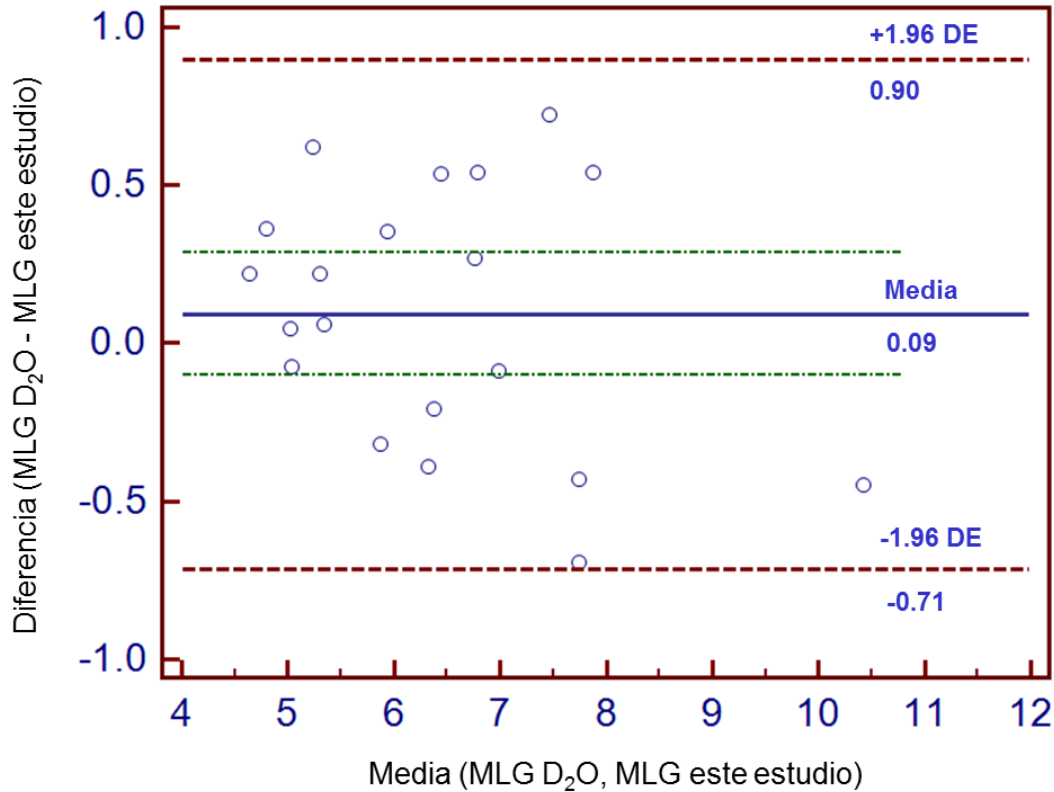
Tabla 11. Análisis de regresión múltiple para determinar variables asociadas a la masa libre de grasa (MLG) (n=21).

Número de compartimentos	Variable Dependiente	Variables Independientes	Coefficientes β (p)	R ²	SEE
2C	MLG D ₂ O (kg)	Peso (kg)	0.6804 (<0.0001)	0.97	0.23
		Sexo	0.3350 (<0.01)		
		Edad (meses)	0.0591 (<0.001)		
		Constante	0.1766		
3C	MLG Siri 3C (kg)	Peso (kg)	0.6401 (<0.0001)	0.98	0.18
		Sexo	0.2723 (<0.0001)		
		Edad (meses)	0.0645 (<0.0001)		
		Constante	0.3516		
4C	MLG Lohman 4C (kg)	Peso (kg)	0.6462 (<0.0001)	0.98	0.19
		Sexo	0.2703 (<0.0001)		
		Edad (meses)	0.0672 (<0.0001)		
		Constante	0.4263		

La variable dependiente (MLG) se calculó con: 2C por dilución con D₂O (OIEA, 2009), Siri 3C (1961); Lohman 4C (1993). Donde: Sexo: 1 para hombres, y 0 para mujeres
Abreviaturas: MLG, masa libre de grasa; IR, índice de resistencia (Resistencia de 50kHz / Longitud²); D₂O, óxido de deuterio; 2C, 2 compartimentos; 3C, 3 compartimentos; 4C, 4 compartimentos; NS, no significativo.

Los modelos que presentaron mejores parámetros (mayor R² y menor SEE) fueron el obtenido por Siri de 3C (1961) (R²=0.98, SEE=0.18), y el obtenido por 4C de Lohman (1993) (R²=0.98, SEE=0.19), que fueron muy similares entre sí.

Se realizó el análisis Bland-Altman para examinar el sesgo de cada ecuación predictiva con respecto a la MLG obtenida por dilución con D₂O. La ecuación que no mostró sesgo significativo fue la basada en 4C de Lohman (1993). La Figura 18 muestra el análisis Bland-Altman para esta ecuación.



Abreviaturas: MLG, masa libre de grasa; D₂O, dilución con óxido de deuterio.

Figura 18. Análisis Bland-Altman del modelo obtenido con la MLG por 4C (Lohman, 1993), (n=20).

Con base en los resultados de la R^2 , el SEE y el análisis Bland-Altman se eligió la ecuación construida utilizando la MLG obtenida por la ecuación de 4C de Lohman (1993) como el modelo final.

Modelo Final

$$MLG(kg) = 0.4263 + (0.0672 * Edad) + (0.6462 * Peso) + (0.2702 * Sexo)$$

$$(R^2 = 0.98, SEE = 0.19)$$

Dónde: Edad: en meses; Peso: en kilogramos; Sexo: 0 para mujeres, 1 para hombres.

CONCLUSIONES

Los indicadores del estado de nutrición expresados como puntaje Z para peso/longitud, peso/edad, IMC/edad, PC/edad, PPMB/edad, tricipital/edad y subescapular/edad, mostraron que los niños del área urbana tienen en general un mejor estado nutricional que los niños del área agrícola.

Como resultado de la aplicación de los modelos predictivos de la composición corporal, y los métodos de referencia utilizados en este estudio, se encontró que los lactantes con algún tipo de desnutrición mostraron niveles de grasa corporal menores a los lactantes sin desnutrición. Así mismo, el porcentaje de grasa (medido por dilución con D₂O, DXA, 3 compartimentos y 4 compartimentos) fue mayor en niñas que en niños. Desde la perspectiva de métodos, DXA sobreestimó el porcentaje de grasa corporal en comparación con los otros métodos utilizados.

Este trabajo sienta las bases para el estudio de la composición corporal y su relación con el estado de nutrición en niños menores de dos años utilizando métodos de referencia como DXA y dilución con D₂O (cuantificado por FTIR) versus métodos convencionales e indirectos. Una contribución relevante fue la optimización del esquema de dosificación del óxido de deuterio. En este estudio se encontró que la dosificación óptima con relación a la respuesta en FTIR fue en un intervalo de 0.53 a 0.83 g/kg de peso corporal, con lo que se obtuvo un enriquecimiento entre 776 y 1410 mg/kg. Esto es importante sobre todo, porque no existe en la literatura científica ninguna justificación para usar dosis mayores.

En el desarrollo de algoritmos para el cálculo de la composición corporal para este grupo de edad las variables de bioimpedancia eléctrica (reactancia, resistencia e índice de resistencia) no fueron buenas predictoras de la masa libre de grasa. De hecho, contribuyeron con <0.5 % de la explicación de la variabilidad en la MLG. En cambio, los modelos basados en antropometría fueron los mejores, y consideraron el peso, la edad y el sexo. Por lo tanto, los modelos multicompartimentales combinados con el uso de la antropometría son la mejor opción para el estudio de la composición corporal para este grupo poblacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Baumgartner RN. Electrical impedance and total body electrical conductivity. En: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB. Human body composition. Segunda edición. Human Kinetics. 2005.
- Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from segmental impedance. *Am J Clin Nutr.* 1989; 50: 221-225.
- Benhke AR. Physiological studies pertaining to deep sea diving and aviation especially in relation to the fat content and composition of the body. *Harvey Lect* 1942: 198-220.
- Brook C. Determination of body composition of children from skinfold measurements. *Arch Dis Child* 1971; 46:182-184.
- Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 1963; 110: 113-140.
- Brunton J, Bayley H, Atkinson S. Validation and application of dual-energy x-ray absorptiometry to measure bone mass and body composition in small infants. *Am J Clin Nutr* 1993; 58:839-45.
- Butte NF, Hopkinson JM, Wong WW, Smith EO, Ellis KJ. Body composition during the first 2 years of life: an updated reference. *Pediatr Res* 2000; 47: 578-585.
- Cárdenas-López C, Haua-Navarro K, Suverza-Fernández A, Perichart-Perera O. Mediciones antropométricas en el neonato. *Bol Med Hosp Infant Mex* 2005; 62.
- Collins CT, Reid J, Makrides M, Lingwood BE, McPhee AJ, Morris SA, Gibson RA, Ward LC. Prediction of body water compartments in preterm infants by bioelectrical impedance spectroscopy. *Eur J Clin Nutr* 2013; 67: S47-S53.
- Davies PSW, Preece MA, Hicks CJ. The prediction of total body water using bioelectrical impedance in children and adolescents. *Annals of Human Biology* 1988; 15: 237-240.
- De Onis M, Frongillo EA, Blössner M. ¿Está disminuyendo la malnutrición? Análisis de la evolución del nivel de malnutrición infantil desde 1980. *Bulletin of the World Health Organization* 2000; 78: 1222-1233.
- Demster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27: 1692-7
- Dung NQ, Fusch G, Armbrust S, Jochum F y Fusch C. Body composition of preterm infants measured during the first months of life: bioelectrical impedance provides insignificant

- additional information compared to anthropometry alone. *Eur J Pediatr* 2007; 166:215-222.
- Durnin JVGA, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements of 481 men and women aged 16 to 72 years. *Br J Nutr* 1974; 32: 77-97.
- Ellis KJ, Yao M, Shypailo RJ, Urlando A, Wong WW, Heird WC. Body-composition assessment in infancy: air-displacement plethysmography compared with a reference 4-compartment model. *Am J Clin Nutr* 2007; 85: 90-95.
- Fjeld CR, Freundt-Thurne J, Schoeller DA. Total body water measured by ^{18}O dilution and bioelectrical impedance in well and malnourished children. *Pediatr Res* 1990; 27:98-102.
- Fjeld CR, Schoeller DA, Brown KH. Body composition of children recovering from severe protein-energy malnutrition at two rates of catch-up growth. *Am J Clin Nutr* 1989; 50: 1266-75.
- Fomon S, Haschke F, Ziegler E, Nelson S. Body composition of reference children from birth to age 10 years. *Am J Clin Nutr* 1982; 35:1169-1175.
- Fusch C, Hungerland E, Scharrer B, Moeller H. Water turnover of healthy children measured by deuterated water elimination. *Eur J Pediatr* 1993; 152: 110-114.
- Gibson R. Principles of nutritional assessment. Segunda edición. Oxford University Press. New York. 2005.
- [ENSANUT] Gutiérrez JP, Rivera-Dommarco J, Shamah-Levy T, Villalpando-Hernández S, Franco A, Cuevas-Nasu L, y cols. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. México. Instituto Nacional de Salud Pública. 2012.
- Heymsfield SB, Wang J, Heshka S, Kehayias JJ, Pierson RN. Dual photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass in vivo with established method. *Am J Clin Nutr* 1989; 49: 1283-1289.
- Heymsfield SB, Wang ZM, Withers RT. Multicompartment molecular level models of body composition analysis. En: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB. Human body composition. Segunda edición. Human Kinetics. 2005.
- [ENSANUT] Instituto Nacional de Salud Pública. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Resultados por entidad federativa, Sonora. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública-Secretaría de Salud. 2007.
- [OIEA] International Atomic Energy Agency. Assessment of body composition and total energy expenditure in humans using stable isotope techniques. Vienna, Austria. 2009.

- [OIEA]. International Atomic Energy Agency. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment. Vienna, Austria. 2010.
- [OIEA] International Atomic Energy Agency. Introduction to body composition assessment using the deuterium dilution technique with analysis of saliva samples by Fourier Transform Infrared Spectrometry. Vienna, Austria. 2010.
- Jaffe M, Tal Y, Hadad B, Tirosh E, Tamir A. Variability in head circumference growth rate during the first 2 years of life. *Pediatrics* 1992; 90: 190-192.
- Koo W, Bush A, Walters J, Carlson S. Postnatal development of bone mineral status during infancy. *J Am Coll Nutr* 1998; 17; 1:65-70.
- Lingwood BE. Bioelectrical impedance analysis for assessment of fluid status and body composition in neonates- the good, the bad and the unknown. *Eur J Clin Nutr* 2013; 67 Suppl 1: S28-33.
- Lingwood BE, Coghlan JP, Ward LC, Charles BG, Colditz PB. Measurement of extracellular fluid volume in the neonate using multiple frequency bio-impedance analysis. *Physiol Meas.* 2000; 21:251-62.
- Lingwood BE, Storm van Leeuwen AM, Carberry AE, Fitzgerald EC, Callaway LK, Colditz PB, and Ward LC. Prediction of fat-free mass and percentage of body fat in neonates using bioelectrical impedance analysis and anthropometric measures: validation against the PEA POD. *Br J Nutr.* 2012; 107: 1545–1552
- Liu A, Byrne NM, Ma G, Nasreddine L, Trinidad TP, Kijboonchoo K, y cols. Validation of bioelectrical impedance analysis for total body water assessment against the deuterium dilution technique in Asian children. *Eur J Clin Nutr* 2011; 65: 1321-27.
- Lohman TG. Dual energy x-ray absorptiometry. En: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB. *Human body composition. Segunda edición. Human Kinetics.* 2005.
- Lohman TG, Going SB. Multicomponent models in body composition research: opportunities and pitfalls. *Basic Life Sci* 1993; 60: 53-58.
- Lohman TG. Estimating body composition in children and the elderly, *Advances in Body Composition Assessment, Current Issues in Exercise Science, Monograph 3* (Lohman, T.G., Ed.), Human Kinetics, Champaign, IL (1992) 65–77.
- Lorente Ramos RM, Azpeitia Armán J, Arévalo Galeano N, Muñoz Hernández A, García Gómez JM, Gredilla Molinero J. Absorciometría con rayos X de doble energía. *Fundamentos, metodología y aplicaciones clínicas. Radiología* 2012.

- Ma G, Yao M, Liu Y, Lin A, Zou J, Urlando A, Wong WW, Nommsen-Rivers L, Dewey KG. Validation of a new pediatric air-displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical equations in Mexican adults. *Nutr J* 2007; 15: 6-18.
- Macias N, Alemán-Mateo H, Esparza-Romero J, Valencia ME. Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutrition Journal* 2007; 6:18.
- Marti L, Martinez F, Ferriolli E, Marchini J, Pontes J, Pfrimer K y cols. Deuterium equilibrium time in saliva of newborn infants. *JPGN* 2009; 48:471-474.
- Mayfield SR, Uauy R, Waidelich D Body Composition of low-birth-weight infants determined by using bioelectrical resistance and reactance *Am J Clin Nutr* 1991; 54: 296-303.
- Mika C, Herpertz-Dahlmann B, Heer M, Holtkamp K. Improvement of nutritional status as assessed by multifrequency BIA during 15 weeks of refeeding in adolescent girls with Anorexia nervosa. *J Nutr* 2004; 134:3026-3030.
- Olhager E, Forsum E. Assessment of total body fat using the skinfold technique in full-term and preterm infants. *Acta Paediatrica* 2006; 95: 21-28.
- [OMS] Organización Mundial de la Salud (WHO) Multicentre Growth Reference Study Group: WHO Child Growth Standards: Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: Methods and development. Geneva, World Health Organization, 2006. Disponible en: http://www.who.int/childgrowth/standards/technical_report/en/index.html
- [OMS] Organización Mundial de la Salud (WHO). WHO child growth standards and the identification of severe acute malnutrition in infants and children. World Health Organization y Unicef 2009. Disponible en: http://www.who.int/nutrition/publications/severemalnutrition/9789241598163_eng.pdf
- [OPS] Organización Panamericana de la Salud. La salud en las Américas. Volumen I. Edición de 2002. Washington, D.C. 2002.
- Parra-Gómez L, Téllez-Girón JR, Escobar C. La desnutrición y sus consecuencias sobre el metabolismo intermedio. *Rev Fac Med UNAM* 2003; 46: 32-36.
- Patterson R, Ranganathan C, Engel R, Berkseth R. Measurement of body fluid volume change using multisite impedance measurements. *Med. & Biol. Eng. & Comput.* 1988; 26: 33-37

- Raghavan CV, Super DM, Chatburn RL, Savin SM, Fanaroff AA, Kalhan SC. Estimation of total body water in very-low-birth-weight infants by using anthropometry with and without bioelectrical impedance and H₂(¹⁸O). *Am J Clin Nutr* 1998; 68: 668-74.
- Schmelzle HR, Fusch C. Body fat in neonates and young infants: validation of skinfold thickness versus dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 2002; 76: 1096-100.
- Sidhu JS, Triggs EJ, Charles BG, Tudehope DI. Electrode placement in neonatal bioelectrical impedance analysis. *Med Biol Eng Comput.* 1994 Jul;32(4):456
- Siri WE. The gross composition of the body. *Adv Biol Med Phys* 1956; 4: 239-280.
- Suverza A, Haua K. El ABCD de la evaluación del estado de nutrición. Editorial McGraw-Hill.México 2010.
- Tang W, Ridout D, Modi N. Assessment of total body water using bioelectrical impedance analysis in neonates receiving intense care. *Arch Dis Child Fetal Neonatal* 1997; 77 :F-123 - F126.
- Torres F. Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México. *Revista de información y análisis* 2002; 22: 15-26.
- Urlando A, Dempster P, Aitkens S. A new air displacement plethysmograph for the measurement of body composition in infants. *Pediatr Res* 2003; 53: 482-492.
- Valencia ME, Alemán-Mateo H, Salazar G, Hernández Triana M. Body composition by hydrometry (deuterium oxide dilution) and bioelectrical impedance in subjects aged >60 y from rural regions of Cuba, Chile and Mexico. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2003; 27:848-55.
- Walker SP, Chang S, Powell C, Simonoff E, Grantham-McGregor SM. Early childhood stunting is associated with poor psychological functioning in late adolescence and effects are reduced by psychosocial stimulation. *J Nutr* 2007; 137: 2464-2469.
- Wells JC, Fewtrell MS. Is body composition important for paediatricians? *Arch Dis Child.* 2008; 93: 168-172.
- Wells JCK, Fewtrell MS. Measuring body composition. *Arch Dis Child* 2006; 91: 612-617.
- Wells JCK, Fewtrell MS, Davies PSW, Williams JE, Coward WA, Cole TJ. Prediction of total body water in infants and children. *Arch Dis Child* 2005; 90: 965-971.
- Weststrate JA, Deurenberg P. Body composition in children: proposal for a method for calculating body fat percentage from total body density or skinfold-thickness measurements. *Am J Clin Nutr* 1989; 50; 1104-1115.

Yajnik CS, Fall CHD, Coyaji KJ, Hirve SS, Rao S, Barker DJP, Joglekar C, Kellingray S.
Neonatal anthropometry: the thin-fat Indian baby. The Pune maternal nutrition study. *Int J Obes* 2003; 27: 173-80.

ANEXO 1. Formato de consentimiento informado

“Factores de hidratación y composición corporal en lactantes y niños pequeños utilizando modelos multicompartamentales”

El propósito de esta investigación es medir la composición corporal de los bebés, para medir la cantidad de grasa y masa libre de grasa en su cuerpo. Este proyecto está bajo la responsabilidad del Dr. Mauro Valencia y la M.C. Consuelo Villegas, de la Universidad de Sonora; y de los Doctores Norberto Sotelo y Jaime Hurtado del Hospital Infantil del Estado de Sonora.

¿Por qué es importante medir el nivel de grasa corporal?

Una mayor cantidad de grasa corporal aumentada está relacionada a enfermedades crónicas en la adolescencia y edad adulta; algunos investigadores han encontrado que estas enfermedades también podrían relacionarse al peso al nacer, al porcentaje de grasa y al crecimiento de los bebés en los primeros meses de vida.

Análisis que se realizarán

En este estudio se harán los siguientes procedimientos y estudios:

- Aplicación de encuesta de datos personales generales
- Medición de peso y talla
- Dosificación con agua de alta pureza para estimar la grasa corporal
- Medición de la grasa corporal con rayos X

Descripción de las mediciones

Encuesta de datos personales generales. Haremos preguntas generales sobre su familia (dirección, teléfono, datos de contacto), así como de ciertas enfermedades que han tenido los familiares del bebé.

Medición de peso y talla. Pesaremos a su bebé y mediremos su estatura, para evaluar su crecimiento.

Medición de la composición corporal (porcentaje de grasa). Se realiza por dos métodos. En el primer método la grasa se estima por medio de la dosificación de esta agua especial. Esta técnica consiste en que el bebé tome una pequeña cantidad, (0.5 gramos por cada kg de peso) aproximadamente 30 minutos después de haber sido alimentado. Se tomarán muestras de su saliva antes de la toma y después de 2, 3 y 4 horas.

EL AGUA ESPECIAL ES TOTALMENTE INOFENSIVA, NO PROVOCA ABSOLUTAMENTE NINGÚN DAÑO Y ES SEGURA PARA TOMAR.

La ingesta del agua especial no modifica ningún aspecto de la vida de su bebé. Solamente durante las primeras 3 horas después de la toma se tratará de evitar que el bebé consuma alimento. Sin embargo, si después de media hora de la toma el bebé tiene hambre, podrá ser alimentado. Después de terminar el estudio el día de la toma del agua especial, el bebé puede ser alimentado de manera normal.

La segunda medición de grasa corporal se lleva a cabo en una cama de rayos X. La medición dura aproximadamente 5 minutos, pero debido a que se tomará una “fotografía” de cuerpo completo del bebé, debe estar dormido. Esperaremos a que el bebé se duerma naturalmente para llevar a cabo la medición. Esta medición se puede llevar a cabo mientras esperamos a que pase el tiempo de la dosificación con agua especial.

LA CANTIDAD DE RAYOS X QUE RECIBE EL BEBÉ EN ESTA MEDICIÓN ES EXTREMADAMENTE BAJA POR LO QUE ESTA MEDICIÓN NO PROVOCA ABSOLUTAMENTE NINGÚN DAÑO A LA SALUD

Resultados

Los resultados de las mediciones de peso, talla y porcentaje de grasa corporal le serán proporcionados a usted **SIN NINGÚN COSTO**, al terminar las mediciones.

Seguridad y confidencialidad

Los datos proporcionados por usted, así como sus resultados serán guardados en la más estricta confidencialidad, ya que sólo serán utilizados para este estudio y sólo con **CLAVE NUMÉRICA**.

Ninguno de los procedimientos realizados a su hijo(a) durante este estudio es dañino para el ser humano

Usted tiene el derecho a preguntar sobre cualquier aspecto de la investigación, **así como a retirarse de esta investigación en cualquier momento, si así lo desea.**

PARA CUALQUIER DUDA, O PREGUNTA QUE USTED TENGA, PUEDE COMUNICARSE A LOS SIGUIENTES TELÉFONOS:

M.C. Consuelo Villegas	289 37 81, Cel. 6621 37 01 77
Dr. Mauro E Valencia	259 21 21, Cel. 6621 11 07 84
Dr. Norberto Sotelo	Cel. 6622 56 68 17
Dr. Jaime Hurtado	Cel. 6621 12 05 36

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por medio de esta FORMA DE CONSENTIMIENTO, declaro que se me han explicado claramente los objetivos de esta investigación, así como los riesgos y beneficios de mi participación en ella.

Así mismo, acepto voluntariamente y me doy por enterado(a) que se realizarán los procedimientos, tomas de muestras y análisis:

- Aplicación de encuesta de datos personales generales
- Medición de peso y talla
- Dosificación con deuterio, para estimar la grasa corporal
- Medición de composición corporal por absorciometría dual de rayos X

Reconozco que este estudio no representa ningún riesgo para mi salud y que estoy en mi derecho de retirarme del estudio en cualquier momento, si así lo deseo

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

Nombre del voluntario: _____

Fecha de Nacimiento: _____ / _____ / _____
Día Mes Año

Dirección: _____

Teléfono 1: _____ Teléfono 2: _____

Nombre del Padre o Tutor: _____

FIRMA DEL PADRE O TUTOR

ANEXO 2. Encuesta de salud

ENCUESTA GENERAL DE SALUD

(Para el expediente; a ser aplicada por un encuestador).

Clave: _____

INFORMACIÓN SOBRE EL VOLUNTARIO

1. ¿El voluntario fue prematuro (nació antes de los 7 meses de gestación)?	Si	No		
2. ¿A los cuántos meses de embarazo nació?				
3. ¿Cuál fue el peso al nacer?	kg			
4. ¿Cuánto midió el bebé al nacer? (longitud)	cm			
5. ¿Estuvo hospitalizado al nacer?	Si	No		
6. ¿Cuánto tiempo estuvo hospitalizado?				
7. ¿Qué enfermedad tenía?				
8. ¿El niño estuvo hospitalizado después de cumplir 6 meses o padeció una enfermedad por mucho tiempo?	Sí	No		
9. ¿Cuál fue la enfermedad y cuánto tiempo duró?				
10. ¿Cuál fue el orden de nacimiento del niño?	1ro.	2do.	3ro.	Otro
11. ¿Se le dio solamente pecho materno?	Si	No		
12. En caso de que la respuesta anterior fuera sí, ¿Cuánto tiempo lo recibió?				
13. En caso de no recibir pecho materno, ¿Qué tipo de leche recibió y de qué marca?				
14. ¿A qué edad empezó a consumir alimentos diferentes a la leche?				
15. ¿Qué tipo de alimentos consumió al empezar a comer sólidos?				

INFORMACIÓN SOBRE LA MADRE

1. ¿Cuál fue su peso y estatura antes del embarazo?		
2. ¿Qué edad tenía al empezar el embarazo?	kg	
3. ¿Cuánto aumentó de peso durante el embarazo?	kg	
4. ¿Asistió a consultas médicas durante el embarazo?	Si	No
5. Si la respuesta anterior fue si, ¿Cuántas veces asistió?		
6. ¿Presentó algún problema de salud durante el embarazo?	Si	No
7. ¿Cuál fue el problema de salud que presentó?		

INFORMACION SOBRE LA FAMILIA

1. ¿Cuál es el ingreso mensual familiar?		
2. ¿La madre trabaja?	Si	No
3. En caso de que la respuesta anterior sea sí, ¿quién está a cargo del bebé y durante cuántas horas al día?		

***NOTA:** Esta encuesta se aplicará en forma de entrevista y se adaptará cada participante para una mayor comprensión de las preguntas.