

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA



**DISEÑO DE UN MODELO PREDICTIVO BASADO EN ANTROPOMETRIA PARA
LA EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN MUJERES CON
NORMOPESO Y SOBREPESO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN NUTRICIÓN**

PRESENTA:

DAVID YAIR MARTÍNEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ LEPE

Tijuana, B.C., México, Diciembre, 2022

Tijuana, Baja California, a 21 de Octubre del 2022.

**COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
(MAESTRIA EN NUTRICIÓN)
FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA**

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Director de la tesis titulada **“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con normopeso y sobrepeso”**, elaborada por **David Yair Martínez Romero**, manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen.

ATENTAMENTE

Marco Lepe

Director de Tesis
Dr. Marco Antonio Hernández Lepe

C.c.p. Archivo

Tijuana, Baja California, a 21 de Octubre del 2022.

**COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
(MAESTRIA EN NUTRICIÓN)
FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA**

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Sinodal de la tesis titulada **“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con normopeso y sobrepeso”**, elaborada por **David Yair Martinez Romero**, manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen.

ATENTAMENTE



Sinodal
Dr. Oscar Omar Ramos López

Tijuana, Baja California, a 21 de Octubre del 2022.

**COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
(MAESTRIA EN NUTRICIÓN)
FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA**

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Sinodal de la tesis titulada **“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con normopeso y sobrepeso”**, elaborada por **David Yair Martínez Romero**, manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen.

ATENTAMENTE



Sinodal
Dra. Estefanía Ochoa Ruiz

Tijuana, Baja California, a 21 de Octubre del 2022.

**COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
(MAESTRIA EN NUTRICIÓN)
FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA**

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Sinodal de la tesis titulada **“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con normopeso y sobrepeso”**, elaborada por **David Yair Martínez Romero**, manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen.

ATENTAMENTE



Sinodal
Dr. Luis Mario Gómez Miranda

C.c.p. Archivo

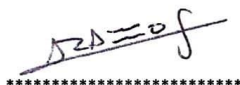
Tijuana, Baja California, a 31 de Octubre del 2022.

**COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
(MAESTRIA EN NUTRICIÓN)
FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA**

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Sinodal de la tesis titulada **“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con normopeso y sobrepeso”**, elaborada por **David Yair Martínez Romero**, manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen.

ATENTAMENTE



Sinodal
Dr. Arnulfo Ramos Jiménez

Agradecimientos a CONACyT

Agradezco a el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme brindado el apoyo económico el cual me permitió culminar en tiempo y forma el termino de mi posgrado realizado en UABC, con la finalidad que mi investigación pueda contribuir a la innovación, el desarrollo y la modernización tecnológica el cual sirva para el bien de nuestro país.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente al Dr. Marco Antonio Hernández Lepe por su guía, apoyo, tiempo, retroalimentaciones y su particular forma de transmitir sus ideas, ahora es tiempo de continuar y como siempre trataré de no faltar a sus enseñanzas.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por su apoyo durante estos dos años de estudio en la cual me brindaron su apoyo incondicional para culminar con éxito mi posgrado.

Especialmente estaré siempre agradecido con mi hermano, ya que me brindo su tiempo, experiencia y apoyo en la realización y termino de mi proyecto de investigación. Por lo que solo puede decirte gracias, hermano, y espero algún día llegar a ser tan genial como lo eres tú.

Resumen

Antecedentes: El sobrepeso y la obesidad actualmente son de los principales problemas de salud pública en México y en el mundo. La determinación de la composición corporal puede ser utilizada en la evaluación de la masa grasa corporal en exceso. Conocer la cantidad de masa grasa de un individuo es de importancia para el diagnóstico de enfermedades crónicas y desarrollar un plan nutricional óptimo, que ayuden a su disminución y control. **Objetivo:** Desarrollar un modelo lineal múltiple, usando el método de mínimos cuadrados para correlacionar los kg de masa grasa, utilizando variables antropométricas de una muestra de mujeres del norte de México. La estandarización ISAK fue utilizada para la evaluación y medición de la muestra utilizada en este estudio. Los criterios estadísticos R^2 , EER, VIF, Cp y RMSE fueron utilizados en la evaluación del desempeño del modelo ajustado. **Metodología:** Estudio transversal observacional descriptivo, para determinar la masa grasa de una muestra de 95 mujeres del norte de México con normopeso y sobrepeso. **Resultados:** La muestra de 95 mujeres fue dividida en dos submuestras. La primera fue integrada por 70 mujeres (muestra de ajuste) elegidas de forma aleatoria de la muestra total, la cual se utilizó para ajustar el modelo. El modelo final seleccionado (M9p) se conformó por nueve predictores más representativos que fueron: masa corporal, seis pliegues cutáneos, diámetro biliocrestal, más el intercepto, el modelo M9p predice masa grasa de 20.9 ± 9.9 kg y fue comparado con la masa grasa calculada por pletismografía por desplazamiento de aire que fue de 21.3 ± 9.3 kg, sin presentar diferencias significativas. Los criterios estadísticos obtenidos fueron: $R^2=0.93$, ERR= 2.9 kg, $VIF < 4.8$, Cp= 7.8, RMSE= 2.15. Los valores anteriores fueron los mejores de todos

los modelos evaluados. La segunda submuestra conformada por 25 mujeres (muestra de validación) se utilizó para evaluar la capacidad predictiva del modelo, se utilizó el criterio RMSE para la comparación de las dos submuestras. El valor de RMSE obtenido de la muestra de validación fue de 2.52 que es 17.2% más alto que lo obtenido para la muestra de ajuste con lo que el modelo presentado es estadísticamente correcto y predictivo. **Conclusiones:** El modelo desarrollado predice adecuadamente la masa grasa de mujeres con y sin exceso de grasa corporal, lo cual lo hace válido para su uso en muestras similares, dando al profesional de salud una opción más de evaluar adecuadamente este tejido, lo que permitirá dar un tratamiento óptimo de forma individualizada.

Palabras clave: *Antropometría; Composición Corporal; Masa grasa; Obesidad; Pletismografía por desplazamiento de aire.*

Abstract

Background: Overweight and obesity are currently one of the main public health problems in Mexico and in the world. The determination of body composition can be used in the evaluation of excess body fat mass. Knowing the amount of fat mass of an individual is important for the diagnosis of chronic diseases and developing an optimal nutritional plan, that helps reduce and control it. **Objective:** Develop a multiple linear model, using the method of least squares to correlate the kg of fat mass, using anthropometric variables of a sample of women from northern Mexico. The ISAK standardization was used for the evaluation and measurement of the sample used in this study. The statistical criteria R^2 , EER, VIF, Cp and RMSE were used in evaluating the performance of the adjusted model. **Methodology:** Descriptive observational cross-sectional study to determine the fat mass of a sample of 95 women from northern Mexico with normal weight and overweight. **Results:** The sample of 95 women was divided into two subsamples. The first was made up of 70 women (adjustment sample) randomly chosen from the total sample, which was used to adjust the model. The final selected model (M9p) was made up of nine most representative predictors that were: body mass, six skinfolds, biliocrestal diameter, plus the intercept, the M9p model predicts fat mass of 20.9 ± 9.9 kg and was compared with the calculated fat mass by air displacement plethysmography that was 21.3 ± 9.3 kg, without presenting significant differences. The statistical criteria obtained were: $R^2=0.93$, ERR= 2.9 kg, VIF< 4.8, Cp= 7.8, RMSE= 2.15. The previous values were the best of all the models evaluated. The second subsample made up of 25 women (validation sample) was used to evaluate the predictive capacity of the model, the RMSE criterion was used to compare the two subsamples. The RMSE value obtained from the validation sample was 2.52,

which is 17.2% higher than that obtained for the adjustment sample, so the model presented is statistically correct and predictive. **Conclusions:** The developed model adequately predicts the fat mass of women with and without excess body fat, which makes it valid for use in similar samples, giving the health professional one more option to adequately evaluate this tissue, which will allow optimal treatment individually.

Keywords: *Anthropometry; Body Composition; fat mass; Obesity; Air displacement plethysmography.*

Contenido

Resumen	I
Abstract	III
Contenido	V
Índice de Tablas	VIII
Índice de Figuras	IX
Abreviaturas y siglas utilizadas	X
Capítulo 1	1
1.1. Marco teórico.....	1
1.2. Métodos densitométricos	17
1.2.1. Hidrodensitometria	17
1.2.2. Pletismografía por desplazamiento de aire	19
1.2.3. Análisis de bioimpedancia eléctrica	21
1.2.4. Antropometría	25
1.2.5. Perfiles antropométricos	25
1.2.6. Equipo antropométrico	27
1.3. Tratamiento estadístico	28
1.3.1. Pruebas de normalidad y correlaciones bivariadas entre variables	30
1.3.2. Regresión lineal por método de mínimos cuadrados	31
1.3.3. Regresión lineal múltiple.....	32
1.3.4. Factor de inflación de la varianza.....	34
1.3.5. El coeficiente de Mallows	35
1.3.6. Lenguaje R.....	36
1.4. Antecedentes	37

1.4.1. Modelos matemáticos a partir de variables antropométricas	37
2.1. Planteamiento del problema	44
2.2. Justificación	44
2.3. Hipótesis	45
2.4. Objetivo general.....	45
2.4.1. Objetivos específicos	45
2.5. Metodología	46
2.5.1. Población y criterios de inclusión	46
2.5.2. Comités y consentimiento informado	48
2.5.3. Evaluación de laboratorio e instrumentos	48
2.5.4. Equipo experimental	49
2.5.5. Masa grasa en equipo de validación.....	50
2.5.6. Análisis estadístico	50
Capítulo 3	52
3.1. Resultados y discusión	52
3.2. Conclusiones	85
ANEXO 1. Carta de aceptación Comité de Bioética	93
ANEXO 2. Datos antropométricos de las 95 mujeres de estudio	94
ANEXO 3. Marcación y técnica de los puntos anatómicos que se realizarán en la investigación de acuerdo con el protocolo ISAK restringido y completo.....	99
ANEXO 4. Pruebas t y prueba de Levene en las dos muestras de mujeres de Ciudad Juárez, Chihuahua y Tijuana, Baja California.	116
ANEXO 5. Gráficas de caja de los datos univariantes de la muestra general de 95 mujeres.....	117

ANEXO 6. Datos univariantes representados por histogramas, graficas q-q y prueba de Shapiro-Wilk para la inferencia a una distribución normal.....119

ANEXO 7. Graficas de elipses de correlación de los parámetros elegidos para el modelo M9p.....120

Índice de Tablas

Tabla 1. Estadísticos descriptivos generales muestra total de mujeres participantes en el estudio.....	55
Tabla 2. Matriz de correlaciones a partir de r Pearson de la variable de repuesta obtenida por PDA vs los predictores	59
Tabla 3. Valores ajustados de los parámetros del modelo M14p.....	62
Tabla 4. Valores VIF calculados de los predictores del modelo M14p.....	64
Tabla 5. Modelos ajustados para la estimación de la MG usando diferentes variables antropométricas (Continua).....	68
Tabla 6. Modelo ajustado M9p	71
Tabla 7. Valores calculados VIF de los predictores del modelo M9p	73
Tabla 8. Masa grasa calculada por PDA y predicha por el modelo M9p en los grupos de ajuste y validación	76
Tabla 9. Datos antropométricos de las 95 participantes	94

Índice de Figuras

Figura 1. Gráfica de caja comparando la masa corporal del grupo de mujeres de Ciudad Juárez (CJ) y Tijuana (TJ).....	54
Figura 2. Gráfica de caja comparando la masa grasa calculada por PDA en la muestra de mujeres de Ciudad Juárez (CJ) y Tijuana (TJ)	54
Figura 3. Gráfica de cajas de los datos univariantes de los pliegues subescapular (mm) y supraespinal (mm) de la muestra total de 95 mujeres; mm: milímetros. 56	
Figura 4. Análisis univariante de la variable masa corporal histograma lado (izquierdo) y grafico Q-Q lado (derecho) y valor de la prueba de Shapiro-Wilk parte superior derecha de la muestra total.	58
Figura 5. Grafica de correlaciones r de Pearson con la variable de respuesta PDAkg vs todos los predictores medidos.	59
Figura 6. Gráfico de los residuales del modelo M14p; MGexp, masa grasa experimental kg; MGcal, masa grasa calculada kg.	63
Figura 7. Gráfica q-q de los cuantiles de los residuales de la masa grasa predichos por el modelo M14p	63
Figura 8. Gráfico del coeficiente de Malló's, lado (izquierdo) número de parámetros a elegir, lado (derecho) grafico con los valores de coeficiente de determinación ajustado de acuerdo al número de parámetros a elegir.....	66
Figura 9. Gráfico de los residuales calculados y predichos del modelo M9p.....	72
Figura 10. Gráfica Q-Q de los cuantiles de los residuos del modelo M9p	72
Figura 11. Gráfico de elipses de correlación de los parámetros elegidos para el modelo M9p.....	74

Abreviaturas y siglas utilizadas

- **ABE:** Análisis de bioimpedancia eléctrica
- **Abd:** Pliegue abdominal
- **APA:** Anteroposterior del abdomen
- **BIL:** Biliocrestal
- **Cad:** Cadera
- **CB:** Circunferencia de brazo relajado
- **Cin:** Cintura
- **Cp:** Coeficiente de Mallow's
- **Ccu:** Circunferencia de cuello
- **cm:** Centímetros
- **E:** Edad
- **ENSANUT:** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición
- **EEE:** Error estándar de lo estimado
- **EER:** Error estándar de los residuales
- **H₀:** Hipótesis nula
- **IMC:** Índice de masa corporal
- **ISAK:** Sociedad Internacional para el Avance Cineantropométrico
- **IRM:** Imagen de resonancia magnética
- **kg:** Kilogramo
- **%MG:** Porcentaje de masa grasa
- **m:** Mediana
- **mm:** Milímetros
- **MG:** Masa grasa

- **Mus:** Pliegue del muslo
- **MLG:** Masa libre de grasa
- **NANHES:** Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición
- **PDA:** Pletismografía por desplazamiento de aire
- **Pier:** Pliegue de la pierna
- **RMSE:** Raíz media de los errores al cuadrado
- **R²:** Coeficiente de determinación
- **R²_{adj}:** Coeficiente de determinación ajustado
- **Sub:** Pliegue subescapular
- **Sup:** Pliegue Supraespinal
- **TC:** Tomografía computarizada
- **Tri:** Pliegue tricipital
- **VIF:** Factor de inflación de la varianza.

Capítulo 1

1.1. Marco teórico

El sobrepeso y la obesidad son dos de los principales problemas de salud pública en el mundo en la actualidad debido a su magnitud y representan un importante reto a nivel nacional e internacional. La determinación de la composición corporal es la forma más adecuada con la cual los profesionales de la salud pueden determinar de forma correcta tales condiciones patológicas (Romero-Martínez et al., 2018).

El índice de masa corporal (IMC) es utilizado frecuentemente para identificar un exceso de masa corporal en los adultos, su valor se obtiene al dividir el peso de la persona por el cuadrado de su talla (kg/m^2) (Romero-Martínez et al., 2018).

La causa fundamental de un exceso de masa corporal es el desequilibrio energético entre las calorías ingeridas y las gastadas. La prevalencia en la ingesta de alimentos hipercalóricos ricos en grasas saturadas y trans, con alto contenido en azúcares simples, deficientes en vitaminas, minerales y fibra, junto con una baja a nula actividad física (estilo de vida sedentario) han elevado sostenidamente estos problemas de salud (Dávila-Torres et al., 2015).

El sobrepeso y la obesidad tienen un origen multifactorial dónde se involucran la genética y el estilo de vida, que son influenciados por diversos determinantes subyacentes como la globalización, la cultura, las condiciones económicas, la educación, lo social y el ambiente político. Este fenómeno ha tomado un papel

determinante en el comportamiento individual, así como en lo familiar y en el ambiente social (Romero-Martínez et al., 2018).

La transición nutricional que ocurre en el país tiene como característica la influencia occidental en la dieta alimentaria, al aumento en la disponibilidad de alimentos procesados de bajo costo (los cuales contienen altas cantidades de grasas, azúcar y sal) y una disminución del tiempo disponible para preparar los alimentos propios en casa. La exposición a la oferta de alimentos industrializados a través de publicidad en televisión, radio y redes sociales ha incrementado el consumo de comida procesada (Romero-Martínez et al., 2018).

En México se estima que la atención de enfermedades generadas como consecuencia del sobrepeso y la obesidad tiene un costo anual aproximado de 3,500 millones de dólares, además, son causa de empobrecimiento debido a que disminuyen la productividad laboral y provocan mayores gastos relacionados a enfermedades crónicas como: diabetes, hipertensión y problemas cardiovasculares (Dávila-Torres et al., 2015).

Actualmente el 12% de la población que vive en pobreza tiene diabetes, de la cual el 90% de los casos se pueden atribuirse al sobrepeso y la obesidad (Dávila-Torres et al., 2015). En el 2018 el porcentaje de adultos con 20 años o más con sobrepeso y obesidad fue de 75.2%, el porcentaje de ambos en el 2012 fue de 71.3% (Romero-Martínez et al., 2018).

Las estrategias para la atención integral del sobrepeso y la obesidad requieren de intervenciones de alto impacto que puedan aplicarse con un enfoque de atención

primaria que refuerce su detección temprana y tratamiento oportuno. La situación actual requiere implementar una política integral multifactorial efectiva, para lograr cambios en los patrones de alimentación, en la valoración de la composición corporal y en la actividad física, que favorezcan la disminución de la ocurrencia de enfermedades crónicas (Dávila-Torres et al., 2015).

México actualizó en el año 2010 la Norma Oficial Mexicana (NOM-008-SSA3-2010), en la cual se establecen los criterios sanitarios que regulan el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad, enfocándose en las disposiciones para el tratamiento médico, quirúrgico y nutricional. Desde hace más de 25 años, la Secretaría de Salud ha realizado un esfuerzo sistemático para obtener datos fidedignos que permitan conocer las condiciones de salud de la población y sus tendencias a partir de las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (ENSANUT). Con los datos obtenidos a partir de estas encuestas se ha detectado un incremento muy acelerado en el sobrepeso y obesidad en niños y adultos, lo cual se ha convertido en un problema de salud en el país (Romero-Martínez et al., 2018).

Se deben seguir desarrollando políticas públicas que promuevan la prevención y control y orientar a los sistemas de salud para que puedan cubrir las necesidades nutricionales de personas que presenten exceso de peso (Dávila-Torres et al., 2015).

La composición corporal puede ser evaluada a través de métodos directos como disección de cadáveres, métodos indirectos *in vivo* como hidrodensitometría, absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA), pletismografía por desplazamiento de aire (PDA) y métodos doblemente indirectos como

antropometría y análisis de bioimpedancia eléctrica (ABE). El análisis químico y la disección de cadáveres de seres humanos han proporcionado la validación teórica de los procedimientos indirectos (Kerr, 1988).

Martin (1984) analizó 25 cadáveres diseccionados por completo, la muestra de cadáveres fue conformada por una población de adultos mayores, los cuales se sometieron a extensivas mediciones, las cuales incluyeron antropometría, radiografía, fotogrametría y densitometría, seguido por la disección de piel, tejido adiposo, músculo, huesos y órganos.

La investigación *in vivo* de la composición corporal se ha centrado en la cuantificación de la grasa corporal por la facilidad con que el tejido adiposo puede ser medido a través de la determinación del calibre de los pliegues. La mayoría de las técnicas de composición corporal consideran el cuerpo como un sistema de dos componentes, la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG). La MG es medida directamente y la MLG por sustracción (Kerr, 1988).

Un sistema de dos componentes no distingue entre las mayores proporciones de la MLG, el músculo y el hueso son tratados como constantes. El porcentaje de agua se considera una constante cuyo valor se encuentra alrededor de 70-72% de la MLG (Kerr, 1988).

La derivación indirecta de cada componente asume una constante de la MLG en casi toda la vida adulta, esto ha sido cuestionado ya que se ha encontrado en investigaciones que el valor de esta constante cambia con la variabilidad biológica

de la persona (Werdein & Kely, 1960; Durnin & Womersly, 1974; Martin, 1984; Kerr, 1988).

La división de la masa corporal en dos, tres y cuatro componentes (grasa, agua extracelular, masa de tejido activo y mineral óseo) es considerada “metabólicamente razonable”, los orígenes de estos conceptos se dan a partir del trabajo de Matiegka et al (1921), quienes utilizaron un modelo antropométrico para fraccionar el cuerpo en cuatro partes. Los conceptos de Matiegka se han extendido, proponiéndose un método por estimación antropométrica del tejido adiposo, músculo, hueso y tejido residual, basado en la evidencia de cadáveres. Se ha usado un enfoque similar para un modelo geométrico de la composición corporal humana (Kerr, 1988).

La valoración de la composición corporal se ha vuelto de gran importancia para los profesionales de la salud a la hora de evaluar algún componente específico, lo cual es de importancia para el tratamiento clínico y nutricional óptimo, por lo cual es importante contar con métodos adecuados que permitan estimar correctamente el tejido adiposo.

El IMC y la circunferencia de cintura han sido ampliamente utilizadas para caracterizar el sobrepeso, así como la obesidad central. Estas determinaciones no permiten evaluar la cantidad de MG, sólo hacen referencia a la distribución de forma subjetiva (Castro-Porras et al., 2019).

Estas dos únicas variables pueden dar una medición imprecisa del porcentaje de la masa grasa (%MG) de un individuo, por lo cual algunos autores han destacado la

importancia de estudiar la MG utilizando diferentes variables como son los pliegues cutáneos (Castro-Porras et al., 2019).

Lee et al., (2018) encontraron una fuerte asociación monótona positiva entre la MG predicha y la mortalidad por distintas causas, medir la cantidad de grasa es un tema central del estudio del sobrepeso y la obesidad a nivel individual y poblacional que ha tomado importancia en estos últimos años.

Existen varios métodos utilizados como instrumentos que miden el componente graso de un individuo, en la mayoría de ellos se necesita tener un conocimiento metodológico estandarizado para realizar la determinación de la MG, si no se tiene la metodología adecuada las mediciones obtenidas son inviables para usarse en estudios poblacionales (Castro-Porras et al., 2019).

Los métodos para la medición de la composición corporal deberían ser precisos en cualquier sujeto, sin importar los diferentes valores de las variables como son: edad, etnicidad, sexo, estado de salud, género, fenotipo, etc., lo cual es difícil de lograrlo, ya que varios métodos se basan en suposiciones, cuya precisión varía según las características de una población a otra (Fosbøl & Zerahn, 2015).

La elección de un método específico o combinación de métodos para un estudio en particular depende de varias consideraciones que incluyen exactitud, precisión, aceptabilidad por parte del sujeto en evaluación, conveniencia, costos y riesgos a la salud (exposición a radiación), otro problema es que los investigadores están frecuentemente confrontados con la terminología empleada, por ejemplo, los términos tejido adiposo, adiposidad, tejido adiposo diseccionable, lípidos, grasa y

masa libre de tejido adiposo se refiere a diferentes definiciones. La ausencia de una definición clara de los componentes corporales puede terminar en consecuencias negativas para la salud. Por lo anterior aquí se define la terminología que se implementará en este trabajo sobre tales componentes (Kerr, 1988).

Tejido adiposo: Tejido conectivo, nervios y vasos sanguíneos con sangre coagulada, pequeñas cantidades de músculo estriado están asociados con la piel suprayacente o el músculo esquelético subyacente.

Adiposidad: Cantidad total del tejido adiposo presente en el cuerpo: tejido adiposo subcutáneo, el tejido adiposo interno alrededor de los órganos, visceral y del músculo esquelético.

Tejido adiposo diseccionable: Tejido adiposo que es separable por disección macroscópica, éste incluye la mayor parte del tejido adiposo subcutáneo, el tejido adiposo alrededor de los órganos y visceral, una cantidad muy limitada entre los grupos musculares, algo del tejido subcutáneo será incluido con la piel mientras un desconocido, pero moderada cantidad permanecerá con los órganos, visceral y musculo.

Lípidos: Lípidos extraíbles con éter, estos incluyen a los triglicéridos y ácidos grasos libres, estructuras de fosfolípidos a partir de la membrana y tejido nervioso, lípidos a partir de la medula ósea y una pequeña cantidad de otros lípidos compuestos basados en el cuerpo.

Grasa: Está definida bioquímicamente como lípidos extraídos por éter que consiste en el tejido adiposo y que son determinados los lípidos esenciales, la estructura de fosfolípidos de la membrana celular y tejido nervioso, lípidos de la medula ósea, y una pequeña cantidad de otros lípidos compuestos del cuerpo. El término grasa es comúnmente usado en referencia al grado de obesidad. Los términos grasa o gordura han sido usados en investigaciones por autores a la hora de discutir el %MG o la MG.

Masa libre del tejido adiposo: Masa del tejido restante del cuerpo después de remover el tejido adiposo diseccionable. Esta masa incluye los lípidos de tejido no diseccionable del tejido adiposo, lípidos estructurales, lípidos del sistema nervioso, y lípidos óseos. Este término no es equivalente ni a la “masa libre de lípidos” ni a la “masa corporal magra”.

A partir de esta terminología es posible elegir el método adecuado para la obtención del resultado deseado y evitar confusiones a la hora de medir el componente graso de una muestra en particular.

Se han desarrollado métodos que contemplan los modelos de dos, tres y cuatro componentes, los cuales pueden predecir la masa de tejidos corporales específicos tomando en cuenta la variabilidad biológica de las personas según su composición corporal (Kerr, 1988).

El análisis DEXA es considerado un estándar de referencia en la evaluación de la composición corporal, originalmente se desarrolló para el diagnóstico y monitoreo de la osteoporosis (mide la densidad mineral ósea). La técnica está basada sobre

la atenuación de haces de rayos X calibrados con la energía de fotón dual, cada elemento atómico tiene como característica un coeficiente de atenuación de la masa por la energía de fotón dada.

La medición de la composición corporal por este método está basada sobre discriminación de tres componentes, distinguiéndolos por su valor R; MG, tejido magro blando y tejido mineral óseo (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Los valores R teóricos para los componentes de grasa y el tejido magro blando se han validado en estudios *in vivo* e *in vitro*. Anteriormente se ha cuestionado hasta qué punto la medición de la composición corporal por DEXA se ve afectada por el estado de hidratación en los tejidos blandos.

Pietrobelli et al. (1998), encontraron que la estimación de la MG por DEXA se da como un conjunto de fluidos añadidos. Sin embargo, concluyen que el error que ocurre en la estimación de la MG es relativamente pequeño (<1%) y no debería afectar la exactitud de la composición corporal medido sustancialmente. Otras fuentes de error en la medición por este método involucran inexactitud de posicionamiento del sujeto, especialmente en el análisis de composición regional, presencia de implantes metálicos y antecedentes de administración de trazador radioactivo en el paciente (Fosbøl & Zerahn, 2015).

En sujetos obesos que son demasiado anchos para el campo de exploración la medición se puede realizar en la mitad del sujeto. La medición de la composición corporal por DEXA comparada con el modelo de cuatro componentes (4C) ha mostrado buena correlación en adultos. La precisión de la determinación por DEXA

de todo el cuerpo para la MG es de 0.8 a 2.7% (error estándar de lo estimado 0.39-0.5 kg) y para el tejido suave magro 0.4-1.3% (error estándar de lo estimado 0.35-0.54 kg) (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Adicionalmente la medición de composición corporal regional puede ser realizada por DEXA con una dosis baja de radiación comparada con la tomografía computarizada (5-10 mSv por el scan del DEXA en todo el cuerpo). La validez de la medición por este método de composición corporal puede ser subestimada en sujetos muy magros y obesos. Diversos investigadores han mostrado una subestimación progresiva de la MG en individuos magros y una sobreestimación en sujetos obesos, el valor R teórico está basado sobre la suposición de una hidratación constante, que puede limitar la aplicabilidad del DEXA en sujetos con una hidratación alterada, pero esto no ha sido el caso en estudios clínicos y experimentales (Pietrobelli et al, 1998).

Los métodos de imagen como la tomografía computarizada (TC) e imagen de resonancia magnética (IRM), son también considerados estándares de referencia precisos para la cuantificación de la composición corporal *in vivo* a nivel tisular (Wang et al., 1992). Las mediciones obtenidas por TC o IRM se clasifican en tejido adiposo total, tejido adiposo subcutáneo, tejido adiposo visceral y tejido adiposo intersticial, este nivel de especificidad en composición de tejido es solamente posible con TC o IRM (Fosbøl & Zerahn, 2015).

El sistema de TC consiste en un tubo de rayos X y un detector que gira en un plano perpendicular al sujeto, el haz de rayos X se atenúa a medida que atraviesa el tejido y las imágenes se reconstruyen con técnicas matemáticas, cada píxel de la

imagen de TC tiene una unidad Hounsfield (HU) como número de medida de la atenuación relativa al agua (HU agua= 0, HU aire= -1000) (Fosbøl & Zerahn, 2015).

La densidad física es el principal determinante de atenuación o valor HU, el valor HU para el tejido adiposo es entre -190 y -30 HU. La validez y exactitud de la medición de composición corporal a partir de TC se han realizado en estudios en cadáveres humanos y en la medición del tejido adiposo visceral, la reproducibilidad de mediciones secuenciales de tejido adiposo visceral expresado con rangos de coeficiente de variación a partir de 0.6 a 12.3% (Fosbøl & Zerahn, 2015).

La dosis de radiación cuando se usa TC para la composición de todo el cuerpo es substancial, lo que significa especialmente una preocupación si se piensa realizar varias mediciones durante el curso de un tratamiento o pruebas clínicas. La IRM no involucra exposición a una ionización de radiación y está basada sobre la interacción entre los núcleos de hidrógeno en el cuerpo humano, cuando se coloca en un campo magnético potente, el hidrógeno de los núcleos se alinearán con el campo magnético en una dirección conocida (Edelman et al., 2007).

Un pulso de taza de frecuencia se aplica haciendo que los núcleos de hidrógeno absorban energía, esta energía es liberada cuando los núcleos vuelven al estado alineado en forma de una señal de taza de frecuencia, esta señal es usada para generar las IRM (Edelman et al., 2007).

Como IRM no proporciona información sobre densidad de tejido (como HU en imagen de TC), segmentación de diferentes tejidos pueden ser realizados por delineación manual o automáticamente segmentado basado sobre una u otra

intensidad de la señal. Métodos de análisis totalmente automatizados son rápidos y más reproducibles que métodos que dependen de encendido de delineación manual, pero puede introducir errores con respecto a exactitud de medición de tejido adiposo (Edelman et al., 2007). Mediciones de composición corporal por IRM han sido validadas en Phantom, animales y cadáveres humanos, mostrando buena concordancia con valores obtenidos por disección y análisis químicos.

El grado de reproducibilidad depende sobre del método de segmentación, con un porcentaje de coeficiente de variación con valores desde 0.3 a 1.7% en determinación de tejido adiposo subcutáneo y 3.5-9.4% de tejido adiposo visceral (Fosbøl & Zerahn, 2015). Hasta aquí se han presentado todos los métodos existentes considerados estándares de referencia DEXA, IRM y TC que poseen una precisión en la determinación de la composición corporal, sin embargo, presentan ventajas y desventajas en su utilización.

Debido a su disponibilidad, manejo y alto costo económico, se complica su implementación rutinaria en grandes estudios clínicos o de campo. Existen otros métodos de valoración alternativos como: la hidrodensitometría (peso hidrostático) y la PDA, los cuales están basados en el modelo de dos componentes MG y MLG y se han validado contra los estándares de referencia, siendo aprobados para la valoración de la composición corporal (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Las comparaciones entre PDA y el peso hidrostático han mostrado buena concordancia en adultos con peso normal, obesos y en niños entre edades de 10-15 años, sin embargo, la medición de la composición corporal por peso hidrostático o PDA están limitados por la validez de la conversión de densidad corporal (Fosbøl

& Zerahn, 2015). Si no se consideran las diferencias entre las muestras y recordando que los métodos densitométricos están basados sobre el modelo de dos componentes, se debe tener en cuenta que la densidad corporal cambiará con respecto a la edad, sexo y etnicidad, no tomar en cuenta lo anterior podría generar errores de sesgo en la información obtenida por estos métodos. Si se toman en cuenta todas estas recomendaciones provenientes de investigaciones donde se han validado ambos métodos tanto en personas con normopeso, sobrepeso y obesidad, los datos obtenidos serán adecuados (Dempster & Aitkens, 1995).

Nutriólogos, investigadores y profesionales de la salud utilizan métodos de valoración de composición corporal doblemente indirectos como son el ABE y la antropometría. Como principales ventajas de estos métodos se encuentran su accesibilidad económica, facilidad de transporte y operación, brindan resultados de forma rápida, además no requieren de una especialización técnica para su uso.

Todas las técnicas descritas anteriormente pueden valorar la composición corporal de cualquier persona, se debe tener en cuenta que han sido validadas en poblaciones con características específicas, siendo está la principal interrogante al momento de interpretar los datos obtenidos, la validez de utilizar un modelo en el cual no se contempló dentro de su muestra a personas con características iguales o similares a las que se pretende evaluar (Deurenberg & Deurenberg, 2003).

En población mexicana existen pocas investigaciones relacionadas con la valoración de composición corporal, es difícil llevar a cabo la utilización de los

métodos directos o indirectos si no se cuenta con la metodología y estandarización en el uso del equipo.

En los estudios existentes en población mexicana, se ha utilizado el método ABE por su practicidad en la investigación de campo, se han desarrollado ecuaciones de predicción validados contra una referencia secundaria como es el PDA en poblaciones específicas. Reajustar los parámetros del modelo llega a ser complicado para los investigadores que no pueden acceder al uso de los equipos ABE y PDA que permitan replicar esas ecuaciones (Macias et al., 2007).

La antropometría es una técnica que expresa cuantitativamente las dimensiones del cuerpo humano y puede ser aplicada en seres vivos o muertos. Se ha propuesto la medición de alturas, diámetros y circunferencias para diferenciar entre personas enfermas y saludables. La técnica antropométrica puede ser implementada rápidamente y tiene la ventaja de ser reproducible y sus procedimientos son no invasivos (Kerr, 1988).

La antropometría es una ciencia formal y su desarrollo ha sido principalmente debido al trabajo y diversidad de colectivos de profesionales que han contribuido con sus investigaciones, sin embargo, existen confusiones en la toma de las mediciones y definiciones, consecuencia de las múltiples corrientes antropométricas. La falta de normalización en la identificación de puntos y técnicas de medición dificulta la comparación de las mediciones tomadas por diferentes evaluadores (Esparza-Ros et al., 2019).

Lo anterior ha llevado a realizar esfuerzos a nivel internacional para unificar y estandarizar las técnicas de medición como los de la Sociedad Internacional para el Avance Cineantropométrico (ISAK). La ISAK fue fundada el 20 de julio de 1986 en Glasgow Escocia, sus practicantes y miembros son individuos cuya actividad científica y profesional se enmarca dentro del campo de la cineantropometría que se define como “disciplina académica que implica el uso de medidas antropométricas en relación con otros parámetros científicos y/o áreas temáticas tales como el movimiento humano, la fisiología, o las ciencias aplicadas a la salud” y de la antropometría, definida como “procedimientos y procesos científicos para obtener medidas dimensionales anatómicas superficiales, como longitudes, diámetros, perímetros y pliegues del cuerpo humano por medio de un material especializado” (Esparza-Ros et al, 2019). La misión de la ISAK es desarrollar un enfoque de “práctica-ideal” en la medición antropométrica y mantener una red internacional de compañeros de trabajo de todas las disciplinas asociadas.

En estudios existentes que desarrollan modelos a partir de antropometría, pocos reportan el tipo de estandarización implementado, lo que dificulta la interpretación de los datos (si es que estos están disponibles) y la validez del modelo.

En esta investigación se busca desarrollar un modelo matemático multivariable el cual correlacione distintos predictores generados a partir de las mediciones de distintos pliegues, perímetros y diámetros (variables antropométricas), utilizando la estandarización ISAK, con la MG de mujeres con normopeso y sobrepeso determinado con el método indirecto PDA (variable de respuesta), con especial interés en evaluar la capacidad predictiva del modelo.

El apearse a una estandarización antropométrica y métodos de referencia bien establecidos y reproducibles permitirá obtener mediciones precisas y confiables, las cuales se ingresarán dentro del modelo para buscar los mejores candidatos utilizando un análisis estadístico riguroso en su correlación con los kg de MG medidos en mujeres con normopeso y sobrepeso.

Lo anterior permite que los resultados de la presente investigación sean replicados, facilitando su uso e interpretación correcta a la hora de valorar la composición corporal de una población en particular por cualquier profesional de salud.

1.2. Métodos densitométricos

La densitometría es utilizada para obtener medidas de referencia para la composición corporal. Los métodos densitométricos estiman una densidad corporal total a partir de la masa corporal/volumen corporal ($D_c=MC/VC$), el volumen corporal puede ser medido tanto por hidrodensitometria como por PDA (Heyward, 2006).

1.2.1. Hidrodensitometria

La hidrodensitometria mide el volumen corporal por la aplicación del principio de Arquímedes, que afirma que un cuerpo parcial o totalmente sumergido en un fluido en reposo experimentará un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado (Dempster & Aitkens, 1995).

La medición de la composición corporal usando peso hidrostático está basada sobre el modelo de dos componentes, es un método clásico y aun en nuestro tiempo todavía por algunos es considerado como un estándar de referencia para la medición del volumen corporal.

El peso corporal del sujeto en el agua es medido durante una sumersión completa después de una expiración máxima (Fosbøl & Zerahn, 2015), el volumen residual en los pulmones debe ser medido durante la sumersión para corregir el volumen de la masa corporal, la densidad corporal es calculada a partir del volumen corporal medido, así como el peso, y puede ser usada para estimar el %MG a partir de

ecuaciones propuestas por Siri ($\%MG = (4.95/Dc - 4.6) \times 100$) y Brozek ($\%MG = 4.57/Dc - 4.142) \times 100$), (Fosbøl & Zerahn, 2015).

La estimación de composición corporal por densitometría asume una densidad constante de la MG y la MLG en todos los individuos de 0.9007 g/mL y 1.100 g/mL, respectivamente (Brozek et al., 1963).

La suposición de que la grasa (lípidos extraíbles por éter) tiene una densidad constante de 0.90 g/mL se refiere solamente a los triglicéridos y no toma en cuenta a los fosfolípidos ni el colesterol del sistema nervioso que presentan una densidad superior (Ross & Kerr, 1993).

La implementación de la técnica de peso hidrostático requiere extenso equipo e instalaciones adecuadas, no es bien tolerada por muchos sujetos en lo que refiere a una completa sumersión en el agua, el método no es adecuado para niños pequeños y sujetos que son incapaces de retener el aire bajo el agua debido a una discapacidad, obesidad, enfermedad pulmonar, etc., (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Ciertas variables como el volumen de los gases y la temperatura sufren variaciones significativas que resultan de la presencia del sujeto evaluado dentro del agua, lo que significativamente impacta en la medición. Comprender y tener en cuenta la naturaleza isotérmica del volumen de aire pulmonar a menudo se ha pasado por alto en enfoques anteriores (Fosbøl & Zerahn, 2015).

1.2.2. Pletismografía por desplazamiento de aire

El PDA es un método utilizado para medir el volumen pulmonar y la densidad corporal. El método usa desplazamiento de aire, en lugar de desplazamiento de agua, para estimar el volumen pulmonar. El principio básico subyacente al uso de PDA para medir el volumen corporal se centra alrededor de la relación de la presión y volumen (Heyward, 2006).

Ley de gases relevantes

La ley de Boyle establece que a una temperatura constante (condiciones isotérmicas) el producto de la presión y el volumen es constante, esto permite que una cantidad de aire comprimido en condiciones isotérmicas disminuya el volumen en proporción al incremento de presión $P_1 / P_2 = V_2 / V_1$ (McCroory et al., 1995).

A diferencia de las condiciones isotérmicas, en condiciones adiabáticas la temperatura del aire no permanece constante a medida que aumenta su volumen, lo cual hace que las moléculas ganen o pierden energía cinética.

La ley de Poisson describe las relaciones entre la presión y el volumen en condiciones adiabáticas: $P_1 / P_2 = (V_2 / V_1)^\gamma$, donde γ es la relación entre el valor del gas a presión y el volumen constante. El valor de γ es aproximadamente de 1.4 para el aire y 1.3 para gases triatómicos como CO_2 y H_2O . Una consecuencia en la distinción de estas dos relaciones es que el aire en condiciones isotérmicas es "más fácil" de comprimir, es decir, para un volumen dado de gas y un cambio de volumen dado, el cambio de presión será menos en condiciones isotérmicas que en condiciones adiabáticas.

Para cambios de volumen pequeños en comparación con el volumen total, el aire cuyo volumen se perturba en condiciones isotérmicas cambia su presión un 40% menos de lo que ocurriría en condiciones adiabáticas (Dempster & Atkiens, 1995).

Esta diferencia en el comportamiento de los gases bajo condiciones isotérmicas y adiabáticas es extremadamente significativa en el diseño de técnicas para la precisa medición de volumen por pletismografía. Una descripción detallada del diseño físico y principios de operación del PDA es descrita a continuación:

El equipo cuenta con una doble cámara pletismográfica, una báscula electrónica para la determinación de la masa corporal del sujeto y una computadora que permite la adquisición de las mediciones a través del software BPsoft.

El equipo proporciona medidas densitométricas de la determinación de la composición corporal, con el peso obtenido por la báscula y el volumen corporal medido por la aplicación de la ley de los gases dentro de la cámara (McCrorry et al., 1995). El aire cerca de la piel, cabello, ropa y dentro de las vías respiratorias (pulmones) se verá afectado térmicamente, haciéndolo más compresible que el aire en condiciones adiabáticas, por lo tanto se necesita corregir el área superficial del cuerpo y el volumen de gas torácico (Fosbøl & Zerahn, 2015).

La validez de la medición con PDA de composición corporal comparada con métodos multicompartimentales en adultos y niños ha mostrado sesgos de %MG a partir de 2 a 4 %. Diversos estudios han investigado la reproducibilidad en la determinación del %MG por PDA con un coeficiente variación para adultos de rangos a partir de 0.3 a 4.5% en mediciones secuenciales (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Para la mayoría de los sujetos evaluados por PDA resulta ser un método menos difícil de tolerar para medir la densidad corporal en comparación al peso hidrostático.

1.2.3. Análisis de bioimpedancia eléctrica

Las propiedades eléctricas de los tejidos han sido estudiadas desde 1871 en amplio rango de frecuencias y tipos de tejido, incluyendo también los dañados o experimentando cambios después de la muerte (Kyle et al. 2004).

El uso del ABE como método para evaluar la composición corporal ha aumentado, debido a que el equipo para realizar la determinación es portátil, no invasivo (seguro) y el procedimiento es simple comparado contra PDA y DEXA, los resultados son reproducibles y rápidamente obtenidos.

Recientemente, se desarrolló la metodología de medición por ABE segmentario, la cual ha sido desarrollada para reducir las inconsistencias entre la resistencia y la masa corporal del tronco del sujeto evaluado (Kyle et al. 2004).

Principios de la impedancia eléctrica

La resistencia eléctrica generada por un material conductor homogéneo de área de sección transversal uniforme es proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su área de sección transversal.

Aunque el cuerpo humano no es un cilindro uniforme y su conductividad no es constante (Liao et al., 2020), se puede establecer una relación empírica entre el cociente de impedancia ($\text{longitud}^2 / \text{resistencia}$) y el volumen del agua que contiene electrólitos que conducen la corriente eléctrica a través del cuerpo.

En la práctica es más fácil medir la altura de un individuo que la longitud conductora de este, que suele ser medida de muñeca a tobillo. La relación empírica usada es la masa corporal magra (típicamente 73% agua) y el cuadrado de la altura (resistencia) (Kyle et al., 2004).

Debido a la falta de homogeneidad inherente en el cuerpo humano, el término altura al cuadrado (resistencia) describe un cilindro equivalente, que se hace coincidir con la geometría real del cuerpo mediante el uso de un coeficiente apropiado para su conversión, este coeficiente depende de varios factores, entre ellos se encuentra la anatomía del segmento del sujeto a investigación.

Errores ocurren cuando se presentan alteraciones en la resistividad del material conductor, variaciones en la relación altura/longitud conductora, variaciones en la forma del cuerpo y de los segmentos corporales. Los segmentos corporales se comportan como si estuvieran conectados en serie con otros segmentos, contribuyendo en menor forma al valor de la resistencia total (Kyle et al., 2004).

Otra complejidad es que el cuerpo ofrece dos tipos de resistencia a una corriente eléctrica que lo atraviesa, la reactancia y la resistencia. La reactancia se genera a través de las membranas celulares y la resistencia a partir de los fluidos extra e

intracelulares (Cox-Reijven et al., 2000). La impedancia es el término usado para poder describir la combinación de las dos.

Un circuito teórico que es comúnmente empleado para representar los tejidos biológicos *in vivo* es donde la resistencia del fluido extracelular se ordena en paralelo con la reactancia y la resistencia del fluido intracelular.

A frecuencias bajas (cero) la corriente suministrada en el cuerpo del sujeto no llega a penetrar la membrana celular, que actúa como un aislante, por lo cual la corriente es conducida mediante el fluido extracelular de los tejidos, a esta medida de resistencia del cuerpo se le denomina R_0 .

El coeficiente entre la reactancia y la resistencia es interesante en su interpretación, ya que éste se puede correlacionar con las diferentes propiedades físicas de los tejidos que son afectados en diversas formas por condiciones como: enfermedad, estatus nutricional, estado de hidratación del sujeto, etc.

El ángulo de fase que otra medida en esta relación junto con índices interrelacionados R_0/R_∞ , los cuales han sido utilizados para predecir resultados clínicos. La medición de composición corporal por ABE se ve afectada por factores como ejercicio previo, posición del cuerpo, temperatura de la piel y consumo dietético. Las condiciones de medición estandarizada por ABE son dependientes de la población de referencia utilizada para generar las ecuaciones de regresión, generadas para correlacionar la MG contra las variables obtenidas entre R/L^2 . La composición corporal varía con la edad, etnicidad, hidratación, estado de salud, etc.

Para obtener resultados correctos de la MG es imperativo seleccionar la ecuación que más se adecue a las características fenotípicas de la población estudiada.

Muchas ecuaciones de correlación propuestas han sido desarrolladas usando un método de dos componentes y el DEXA como método de criterio. Hasta cierto punto la suposición respecto a la hidratación constante del sujeto sobre la cual la ecuación de regresión derivada se basa en que puede generar estimaciones erróneas de MLG y MG. La medición composición corporal por ABE comparada con el modelo de 4C ha mostrado sesgos en determinar %MG de -10 a 5%, con límites generalmente estrechos de $\pm 8\%$ en adultos saludables (error técnico MLG de 1.7-6.9 kg) (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Existen ecuaciones específicas para poblaciones como adultos con sobrepeso, ancianos y niños. Estudios clínicos en varias poblaciones, incluyendo adultos obesos, atletas y adultos mayores saludables, muestran que el ABE tiene una precisión limitada comparada con el modelo de 4C. Como conclusión, el ABE es un método de medición de composición corporal que tiene como ventajas ser no invasivo para la persona evaluada, independiente del observador, además de ser un método de campo barato, fácil de implementar y transportar. La validez de sus determinaciones de MG es altamente dependiente de la selección de una ecuación de regresión que mejor represente las características del sujeto a evaluar (Fosbøl & Zerahn, 2015).

1.2.4. Antropometría

La antropometría es un método que permite la evaluación de la composición corporal, aplicable en todo el mundo, se puede evaluar el tamaño, proporciones y la composición del cuerpo humano. Su aplicación es importante para la toma de decisiones clínicas y de salud pública (Sarmiento, 2014).

El método antropométrico proporciona datos de índole cuantitativa que permiten:

- a) Comparar los datos de un individuo con patrones obtenidos de poblaciones de diversos tamaños, información que puede tener un valor de diagnóstico o pronósticos y ofrecer una base válida cuantitativa.
- b) Obtener registros longitudinales que permiten determinar la tasa de crecimiento y otros parámetros de maduración, también pérdida o aumento de algún componente corporal.
- c) En estudios transversales los datos antropométricos pueden usarse para identificar la situación de un individuo, pero no el proceso por medio del cual llegó a tal situación.

1.2.5. Perfiles antropométricos

Existen perfiles antropométricos como los establecidos por la ISAK y uno de ellos es el perfil restringido, el cual consiste en 21 medidas que se dividen en cuatro grandes categorías (Esparza-Ros et al, 2019):

- 1) Básicos (Masa corporal, talla, talla sentado y envergadura).

- 2) Pliegues cutáneos (Tríceps, bíceps, subescapular, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo, pierna).
- 3) Perímetros (Brazo relajado, brazo contraído, cintura, cadera, muslo medio y pierna).
- 4) Diámetros (Biepicondíleo del húmero, Biepicondíleo del fémur y biestiloideo).

Las mediciones del perfil restringido de la ISAK permiten efectuar cálculos sobre estimación de composición corporal (mediante la aplicación de una cantidad limitada de ecuaciones de predicción), somatotipo, proporcionalidad, patrones de distribución de la grasa, etc., (Esparza-Ros et al., 2019).

El desarrollo de la antropometría es principalmente debido a la gran diversidad de los colectivos de profesionales que han contribuido con sus investigaciones al desarrollo de la ciencia detrás de ella. Sin embargo, este hecho también ha originado confusiones, una de las principales consecuencias ha sido la falta de normalización en la identificación de los puntos y técnicas de medición (Esparza-Ros et al., 2019), esto ha dificultado la comparación de las mediciones tomadas en diferentes momentos y lugares. Lo anterior ha llevado a unificar normas internacionales como las establecidas por ISAK, que fue creada a partir del Grupo de Trabajo Internacional en Cineantropometría, la cual se conforma por miembros de más de 80 países y empezó su operación desde 1986 en el desarrollo de las normas antropométricas. La razón para adoptar una metodología estandarizada es permitir las comparaciones a nivel local, nacional e internacional entre diferentes grupos de muestra.

1.2.6. Equipo antropométrico

También se deben de considerar las diferencias entre equipos antropométricos a la hora de evaluar la composición corporal, existe una gran variedad y la precisión varia con el precio y tipo de material de su fabricación.

En el ejercicio profesional en el consultorio, el equipo más común que los nutriólogos suelen utilizar es el económico como el plicómetro Slimguide, cintas métricas de fibra de vidrio, que suelen descalibrarse constantemente si no se tiene el cuidado necesario a la hora de utilizarlos, que a diferencia con equipos que suelen utilizarse en investigación como el Plicómetro Harpenden, cinta antropométrica y antropómetros, suelen siempre estar calibrados y se da un mejor cuidado tanto para su uso como para su resguardo (Heyward, 2006).

Otra diferencia entre estos equipos es la precisión lograda en la medición de los diferentes diámetros, pliegues y longitudes, siendo más fina en los equipos de investigación, lo cual es de suma importancia cuando los datos obtenidos se utilizarán para ajustar un modelo para la predicción de una respuesta dada, en este caso la MG.

La pregunta ¿Utilizar equipo económico para la medición antropométrica tiene un impacto sobre el porcentaje de error obtenido en la predicción de la MG generada por el modelo ajustado?, es una de las interrogantes que surgen derivadas de esta investigación, por lo cual primero se investigaron las características técnicas de los equipos utilizados.

1.3. Tratamiento estadístico

Contar con un resumen estadístico conciso de un conjunto de datos facilita la interpretación y la comparación entre diferentes muestras cuantitativa o cualitativamente, uno de los principales estadísticos utilizados es la tendencia central de una muestra de datos tomada de una población. Al valor promedio de un conjunto de datos es llamado media y es representado con el símbolo \bar{x} , la media de un conjunto de datos está definida por la Ecuación 1.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{(Ecuación 1)}$$

El símbolo Σ (letra griega *sigma*) indica una suma que parte del índice *i* igual a 1 hasta *n* el número de datos que contiene nuestra muestra X_1, X_2, \dots, X_n . Otro estadístico de la tendencia central más resistente a la presencia de valores anormales dentro de una muestra es la mediana (*m*), la cual es el valor medio (central) de una distribución de números cuando estos se organizan del más pequeño al más grande, cuando se tiene un número impar de datos la mediana es el valor del dato colocado a la mitad, cuando hay un número par de datos la mediana es el promedio de los dos valores que se encuentran en el medio.

La muestra de la mediana *m*, de un conjunto X_1, X_2, \dots, X_n se obtiene ordenado los datos $X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(n)}$ (Verzani, 2004).

La moda de un conjunto de datos es el valor que con más frecuencia se encuentra dentro de la muestra, este estadístico sólo aplica a datos numéricos discretos. Para obtener la varianza, con la noción de centro podemos evaluar cual es la variación de cada valor dentro de la desviación muestral usando el valor de la media, la

variación de un dato puede ser evaluado de la forma valor $X_i - \bar{X}$, si se realiza la suma sobre toda la muestra podemos obtener un valor que nos indica el sentido del total de variación. Cabe mencionar que la suma anterior de los términos podría generar un valor de 0 debido a la cancelación entre los términos positivos y negativos generando una idea falsa sobre la variación, por lo que es preferente sumar las desviaciones al cuadrado $(X - \bar{X})^2$.

Si la dispersión de los datos es considerable, la suma es relativamente grande, si no hay gran dispersión en los datos, la suma es relativamente pequeña, no hay que olvidar que la suma puede ser grande porque la cantidad de datos en la muestra n es grande y no porque se tenga gran dispersión. La forma de quitar esta dependencia del tamaño de muestra es dividiendo nuestra suma con un factor de escala, si dividimos entre el tamaño de la muestra n obtenemos el promedio de la desviación al cuadrado, más común es dividir $n-1$, produciendo la varianza de la muestra (**S**) (Denis, 2020), como se muestra en la Ecuación 2:

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

La desviación estándar (σ) de la muestra, es la raíz cuadrada de la varianza, tiene la ventaja de poseer las mismas unidades que la media, al igual que la varianza valores grandes indican mayor dispersión. La desviación estándar de una muestra de datos es calculada a través de la Ecuación 3:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

1.3.1. Pruebas de normalidad y correlaciones bivariadas entre variables

La distribución normal de una población es una suposición requerida en muchos métodos estadísticos. La normalidad de una muestra se puede evaluar inferencialmente. Por “inferencia” queremos decir que la prueba evaluará una hipótesis nula, la cual, en el caso de la suposición de normalidad de una muestra de datos, tomada de forma aleatoria de una población, contempla que están normalmente distribuidos (Denis, 2020).

La prueba de Shapiro-Wilk sirve para comprobar la hipótesis de la normalidad de una muestra de datos, como ejemplo, la prueba genera dos resultados valores $W = 0.99925$ y $p = 0.968$, este último se compara contra un valor de la significancia de la prueba generalmente su valor se establece en 0.05 (95% de confianza), si el valor de p es mayor que el nivel de la significancia, no se rechaza la hipótesis nula y tenemos evidencia suficiente para sugerir que la distribución está normalmente distribuida. Si el valor de p es menor a la significancia rechazamos la hipótesis nula, la suposición de normalidad y se dice que los datos no están normalmente distribuidos.

La correlación de momento-producto de Pearson o r de Pearson, es una medida de la relación lineal entre dos variables continuas (coeficientes de correlación).

Cuando existe una relación lineal entre la variable x y la variable z entonces los valores de r cercanos a 1 o -1 indican una fuerte relación lineal entre las variables, valores cercanos a 0 indican una relación lineal débil (Denis, 2020).

La correlación que define el coeficiente de Pearson entre dos vectores de datos X_i y Y_i es definido en la Ecuación 4:

$$r = \text{cor}(x, y) = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right). \quad (\text{Ecuación 4})$$

El numerador mostrado en la Ecuación 4 es conocido como la covarianza, que es definido como la suma de los productos cruzados dividido por $n-1$. Las covarianzas son escalas dependientes, lo que significa que una gran covarianza puede resultar en parte debido a las variabilidades en x_i y y_i , no solamente por el término cruzado $(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$. Esto significa que es totalmente posible obtener una covarianza de tamaño razonable entre dos variables, sin embargo, el grado de relación lineal no necesita ser excesivamente grande, para solucionar esto se estandariza la covarianza dividiéndola por el producto de desviación estandar $\sigma_x - \sigma_y$. El valor resultante es llamado r de Pearson el cual es independiente del tamaño de la muestra.

1.3.2. Regresión lineal por método de mínimos cuadrados

En la Ecuación 5 se define la línea de regresión de los mínimos cuadrados.

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde α es la ordenada al origen de la línea y β es el valor de la pendiente, ambos son parámetros que buscamos estimar utilizando los datos disponibles de una muestra o generados a través de un experimento.

La primera parte de la Ecuación 5 ($\alpha + \beta x_i$) es conocida como la parte determinística del modelo, el término ε representa la parte estocástica, una vez que se han estimado el valor de los parámetros podemos hacer predicciones sobre y_i (variable de respuesta). Sin embargo, las predicciones obtenidas a través de este no son iguales a los valores reales de la variable de respuesta.

La razón de este nombre es que las fórmulas usadas para ajustar la línea que cruza a través de todos los valores utilizados en el ajuste genere las menores desviaciones entre el valor calculado de la variable de respuesta y su valor real (determinado u observado), esta diferencia es elevada al cuadrado para evitar la cancelación de los términos, el objetivo que se busca en el algoritmo de resolución es disminuir el valor de la suma de los residuos a su menor valor, de esta manera la α y β calculadas garantizan que la línea resultante genera el mejor ajuste posible para los datos (Denis, 2020).

1.3.3. Regresión lineal múltiple

El objetivo del análisis de regresión es hacer predicciones sobre una variable de respuesta (continua) basada sobre el uso de una o más variables predictoras.

Si hay una sola variable predictora en el modelo este es llamado regresión lineal simple, si hay más de un predictor esta es conocida como regresión lineal múltiple. La regresión lineal múltiple busca modelar la predicción a una simple variable de respuesta (Denis, 2020), la regresión lineal múltiple está definida en la Ecuación 6.

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde α es la ordenada al origen del modelo lineal y β_p es el vector que contiene el valor de todos los parámetros del modelo (pendientes parciales), se tienen tantos parámetros parciales como predictores (variables) haya en nuestro modelo, el índice p indica el número de predictores y el índice i el número de datos con el que se cuenta para ajustar el modelo, el modelo aún posee un término error ε , como en el caso de la regresión lineal simple, que es el valor por el cual la parte determinística del modelo no puede generar una predicción exacta de y_i (variable de respuesta).

A partir del modelo de regresión lineal múltiple se puede obtener un resumen de los resultados, los cuales son el error estándar de los residuales (EER), el cual corresponde a la raíz cuadrada de la varianza de los residuales.

El coeficiente de determinación (R^2), es la correlación cuadrada entre los valores observados y_i y los predichos por el modelo Y_i .

Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Adj}): anteriormente definimos R^2 como la correlación entre los valores observados y predichos a partir del modelo como suma de los cuadrados de los residuos.

La R^2 es una medición muy popular del modelo ajustado y es regularmente reportado en la sección de resultados de reportes científicos (Denis, 2020). Sin embargo, un inconveniente de la R^2 es que siempre incrementará al aumentar el número de predictores utilizados para ajustar el modelo (suponiendo al menos

alguna contribución de una nueva variable), lo anterior quiere decir que si añadimos más variables al modelo, incluso si los predictores son débiles, el valor de R^2 incrementará. Por esta razón, R^2_{Adj} busca equilibrar la complejidad del modelo utilizado para ajustar los valores de un conjunto de mediciones y en ese sentido, penalizar a los modelos que son más complejos de lo que necesitan ser.

Existen algunas maneras diferentes de definir R^2_{Adj} una de ellas es mostrada en la Ecuación 7:

$$R^2_{Adj} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n - 1}{n - p} \right) \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde n es el número de observaciones en el modelo, p es el número de parámetros ajustados el cual incluye al intercepto. Ya que es un hecho que R^2 incrementa cuanto más variables son añadidas al modelo, el valor de R^2_{Adj} intenta mitigar este hecho, cuando realizamos un modelo de regresión múltiple podemos esperar que R^2_{Adj} sea menor a R^2 .

1.3.4. Factor de inflación de la varianza

Para ayudar a identificar problemas de colinealidad entre los predictores dentro del modelo lineal múltiple, podemos calcular el factor de inflación de la varianza (VIF), el cual es evaluado para cada predictor dentro del modelo (Denis, 2020). Un valor numérico relativamente grande del VIF respecto del valor calculado para las demás variables, es indicativo de que este predictor podría ser colineal con otros. El VIF es una medida de cuánto la varianza de un predictor es aumentada debido a su correlación con otros predictores en el modelo, en la práctica los valores VIF se

espera se encuentren en el rango entre 5-10, si su valor excede este rango tendrá que considerar si vale la pena eliminar uno o más predictores en el modelo.

1.3.5. El coeficiente de Mallor's

El coeficiente de Mallor's (C_p) es calculado utilizando la Ecuación 8:

$$c_p = \frac{RSS_p}{\hat{\sigma}^2} + 2p^{-n} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde σ^2 es la varianza calculada a partir del modelo ajustado y RSS indica la raíz de la suma de los residuales al cuadrado obtenidos con un modelo con p parámetros. Para el modelo completo $C_p = p$. Un modelo con un mal ajuste tendrá un C_p mucho mayor que p . Es habitual graficar el valor de C_p contra p en el ajuste de modelos con valores de C_p menores al número de parámetros (Faraway, 2004).

La raíz media de los errores al cuadrado (RMSE) está definida por la Ecuación 9,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

donde Y_i son las observaciones experimentales de la variable de respuesta, y_i son los valores predichos por el modelo para la respuesta, los cuales son generados al ingresar valores numéricos para todos los predictores utilizados durante el ajuste, n el número de observaciones disponibles para el análisis.

El RMSE mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, compara un valor obtenido a través de un modelo y un valor observado o medido

experimentalmente. Cuanto mayor sea la diferencia indica una brecha mayor, lo que significa un modelo deficiente en la correlación de los predictores con la variable de respuesta, cuanto menor sea el valor del RMSE mejor será el modelo (Faraway, 2004).

Para llevar a cabo un análisis estadístico robusto existen diversos softwares que nos brindan herramientas estadísticas para aplicarse a datos casi de forma inmediata, dando la oportunidad de disponer de mayor tiempo para el análisis de los resultados que en la programación de los algoritmos para obtenerlos.

1.3.6. Lenguaje R

R es un lenguaje de cómputo sólido para el cálculo estadístico, el cual proviene del lenguaje *S* desarrollado en los laboratorios Bell. *R* es un software de fuente abierta (Open Source) y es parte del proyecto GNU, puede ser instalado en diferentes sistemas operativos como: Linux, Unix, Macintosh, y Windows. *R* es un excelente software para aplicar la estadística en muestras de cualquier tamaño, tiene a disposición múltiples librerías para el análisis y representación gráfica, cuenta con amplia documentación para el uso de sus librerías, también se tiene acceso al código fuente de ellas para conocer como están realizados los cálculos y en caso de requerirlo poder modificarlo para generar nuevas capacidades. *R* es uno de los softwares más utilizados en la investigación científica en la actualidad por ser de libre acceso en comparación a otro software como SPSS, STATA, etc.

1.4. Antecedentes

1.4.1. Modelos matemáticos a partir de variables antropométricas

Se pueden encontrar diferentes modelos matemáticos para correlacionar la MG de una persona, los cuales han utilizado diferentes métodos para la determinación de la MG y emplean como predictores diferentes medidas evaluadas tanto por antropometría como ABE, los cuales son cada vez más utilizados.

La medición de la MG ha incrementado su importancia debido a los crecientes problemas del sobrepeso de las poblaciones en todo el mundo. La imposibilidad de la medición directa, si no se cuenta con el equipo adecuado y con personal altamente calificado para operarlo complica aún más esta situación, los diferentes equipos mencionados con anterioridad en este trabajo conocidos como estándares de referencia, utilizan sofisticados programas y algoritmos complicados para el cálculo de la MG de un individuo (Ramos-Jiménez et al., 2018).

La validación de los modelos matemáticos desarrollados a partir de variables antropométricas se ha realizado utilizando los métodos de referencia como son DEXA, PDA e hidrodensitometría, presentando de moderados a altos índices de correlación ($R > 0.60$) y errores estándar de estimación (EEE) menores del 5%.

Sin embargo, existen aún pocos estudios en donde se hayan realizado modelos matemáticos a partir de variables antropométricas en población mexicana y validados contra las técnicas de referencia.

Ramos-Jiménez et al. (2018), desarrollaron un par de modelos para calcular de manera sencilla el %MG en adultos jóvenes, validándolo por PDA y ABE, utilizaron

una muestra de 284 participantes entre edades de 18 a 35 años. Los modelos desarrollados fueron categorizados para hombres (H) y mujeres (M) por separado, los cuales se presentan en la Ecuación 10:

1. $\%MG_H (PDA) = 26.02 + 0.26 Cc + 0.17 PA + 0.31 PMF + 0.13 PBS - 23.59 T$

- $R^2 = 0.78$, $EEE = 3.64\%$, $p < 0.001$

2. $\%MG_H (ABE) = 22.77 + 0.24 Cc + 0.11 PB + 0.07 PA + 0.21 PSB - 17.80 T$

- $R^2 = 0.76$, $EEE = 2.48\%$, $p < 0.001$

3. $\%MG_M (PDA): 0.21 Cc + 0.25 PSP + 0.21 PMF + 0.25 PMA - 0.13 PB$

- $R^2 = 0.98$, $EEE = 4.02\%$, $p < 0.001$

4. $\%MG_M (ABE): 0.15 Cc + 0.05 PSP + 0.04 PMF + 0.08 PMA + 0.60 IMC$

- $R^2 = 0.99$, $EEE = 2.37\%$, $p < 0.001$ **(Ecuación 10)**

Todas las variables antropométricas (predictores) utilizadas en los modelos se relacionaron linealmente con él %MG. Los modelos para determinar %MG generados son prácticos y sencillos, presentaron una alta confiabilidad respecto a los datos de ajuste y son útiles para su aplicación en el campo clínico y deportivo, de acuerdo con las observaciones de los investigadores, los modelos tienen la limitación de sólo ser utilizados en personas saludables y entre las edades estudiadas.

Los modelos bicompartimentales como la densitometría suponen que las densidades de la MG y MLG son iguales entre los individuos, se ha observado experimentalmente que estas densidades se cambian conforme la edad, sexo y otros factores, por lo que los modelos se encontrarán sujetos a un error si se utilizan en la estimación para una población diferente.

Huerta-Huerta et al. (2007), desarrollaron y validaron un modelo en adultos mayores de 60 años utilizando una muestra de 202 participantes, para estimar la MG a partir de las variables antropométricas peso y pliegues cutáneos, utilizaron el modelo 4C como método de referencia, la densidad corporal fue determinada a partir de las mediciones del volumen y la masa corporal determinada por PDA, el agua corporal total se determinó con el método de dilución con óxido de deuterio después de administrar una dosis única vía oral de 3.0 g, las cenizas corporales óseas totales se midieron por densitometría utilizando DEXA, para determinar la masa mineral corporal total el valor de las cenizas corporales óseas totales se multiplicó por 1.279, en la Ecuación 11 se muestra el modelo desarrollado para estimar la MG.

$$MG \text{ (kg)} = (0,165 \times PP) + (0,355 \times PB) + (0,521 \times MC) - (6,054 \times S) - 13,171$$

(Ecuación 11)

Donde S es el sexo (mujer = 0, hombre = 1), la MG estimada por el modelo fue de 25.5 ± 0.8 kg y por el modelo de 4C fue de 25.20 ± 0.9 kg. Con respecto al sexo la MG para hombres del modelo generado fue de (22.9 ± 1.08 kg y 22.2 ± 1 kg) y el de mujeres fue (28.0 ± 1.3 kg y 28.1 ± 1.3 kg) respectivamente. La confiabilidad de esta ecuación se basa primero en que fue diseñada y validada utilizando como método de referencia el modelo de 4C, el cual disminuye los errores debidos a la variabilidad biológica de la MLG de los adultos mayores. Segundo este modelo se ajustó sobre una muestra que incluyó adultos mayores con un amplio rango de edad (60 a 89 años) e IMC entre 16.3-36.2 kg/m², saludables y bien hidratados. Finalmente, es importante mencionar que siempre será preferible desarrollar

modelos que estimen algún componente de la composición corporal sobre poblaciones específicas que tener en cuenta los diferentes estilos de vida.

Castro-Porras et al. (2019), desarrollaron y validaron un modelo basado en antropometría para calcular la MLG, con el cual también es posible estimar el %MG, utilizando como muestra adultos jóvenes con obesidad, el tamaño de su muestra fue de 275 (181 mujeres y 94 hombres), el estudio se enfocó en evaluar la capacidad del modelo de discriminar personas normales de las obesas utilizando sólo algunas variables antropométricas sencillas que reflejen la obesidad en población mexicana, utilizaron como método de referencia el PDA para la determinación de la MLG y %MG. El modelo desarrollado se muestra en la Ecuación 12:

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

- $R^2 = 0.93$ $\text{EEE} = 2.6 \text{ kg}$ **(Ecuación 12)**

El valor de la MLG obtenido con el modelo basado en antropometría es una opción válida principalmente porque es capaz de estimar el %MG, los investigadores mencionan: que de acuerdo con las referencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) con respecto al %MG su modelo es capaz de discriminar a personas con y sin obesidad. La limitante del modelo no genera estimaciones correctas de la MLG en poblaciones con características diferentes a la muestra de estudio (Castro-Porras et al., 2019).

Existen estudios con grandes tamaños de muestra de una población, donde han sido involucradas poblaciones mexicoamericanas o hispanas, también se

desarrollaron modelos basados en antropometría para cálculo de %MG, MG y MLG, los cuales han sido claves en el desarrollo de los modelos anteriormente mencionados.

Lee et al. (2017), desarrollaron modelos simples basados en antropometría para la evaluación de MLG, MG y %MG con el uso de una muestra de 14,065 personas caucásicas de diferentes etnias (n= 7531 hombres y n= 6534 mujeres), validaron sus modelos usando biomarcadores para examinar, si los predictores de composición corporal son útiles para correlacionar con los biomarcadores relacionados con la obesidad, se utilizó el DEXA como método de referencia y variables antropométricas como predictores para los modelos. Los modelos generados para la MLG para la población mexicoamericana fueron las siguientes Ecuaciones 13.1 y 13.2:

$$MLG_H \text{ (kg)} = 19.363 - 0.001E + 0.064T + 0.756MC - 0.366Cc - 0.066$$

- $R^2 = 0.91$, $EEE = 2.55 \text{ kg}$ **(Ecuaciones 13.1)**

$$MLG_M \text{ (kg)} = -10.683 - 0.039 E + 0.186T + 0.383MC - 0.043Cc - 0.306$$

- $R^2 = 0.85$, $EEE = 2.38 \text{ kg}$ **(Ecuaciones 13.2)**

La particularidad del estudio es que se calculan los interceptos, parámetros y predictores de cada una de las variables medidas, los cuales son utilizados para desarrollar los modelos a partir de su muestra y sus diferentes grupos étnicos.

Los resultados de validación muestran una robusta evidencia de que los modelos con variables antropométricas sencillas propuestos pueden ser usados en grandes muestras epidemiológicas, para evaluar la composición corporal, considerando que los sujetos de estudio tienen que cumplir con las características de la muestra utilizada para los modelos propuestos (Lee et al., 2017).

Existen investigaciones que han propuesto modelos a partir de variables antropométricas que se han centrado en las diferencias de la composición corporal en diferentes razas/etnias, entre ellos se encuentra el trabajo de O'Connor et al. (2010), donde se menciona que los modelos para estimar el %MG que se desarrollan con datos transversales presentan sesgos cuando se aplican a poblaciones étnicamente diversas, por lo que desarrollaron modelos con mayor precisión para estimar el %MG, utilizaron DEXA como método de referencia, ya que este método ha sido generalizado en adultos jóvenes de diferentes etnias en estudios clínicos transversales y longitudinales. Su muestra se compuso de 37% blancos no hispanos, 29% hispanos y 34% afroamericanos, como variables antropométricas utilizaron peso, talla y pliegues cutáneos, el %MG se determinó con el DEXA como variable de respuesta.

Sandhu et al. (2010), desarrollaron modelos que permiten estimar la MG como un indicador útil en la fisiología, nutrición y en la medicina clínica de jóvenes adultos de la India, desarrollaron modelos con capacidad predictiva para la MG a partir de mediciones antropométricas realizadas en adultos jóvenes, debido a que los modelos existentes han sido ajustados utilizando muestras con sólo individuos occidentales y no son adecuadas para individuos con otras características genotípicas o fenotípicas. Para derivar su modelo utilizó como método de

referencia el peso hidrostático para medir el volumen pulmonar residual y con esto obtener MG en kg, las mediciones antropométricas incluidas fueron peso, altura, y cuatro pliegues.

Todos los estudios existentes tienen su propia particularidad, la cual permite a cada investigación poder ajustar un modelo matemático para calcular la composición corporal en poblaciones específicas.

Capítulo 2

2.1. Planteamiento del problema

Las técnicas como el DEXA, IRM, TM y PDA son de limitado acceso y para su uso requieren de una metodología y estandarización correcta, además el costo de las determinaciones es elevado y su uso en las investigaciones de campo es difícil. Por lo anterior las mediciones antropométricas y el ABE se han convertido en las primeras opciones para valorar la composición corporal en estudios clínicos y epidemiológicos por su practicidad, fácil determinación, portabilidad y bajo costo, todas estas técnicas están basadas en suposiciones o presunciones fundamentales respecto a las propiedades fisiológicas del cuerpo humano y variarán en su exactitud y confiabilidad de acuerdo al número de técnicas utilizadas ya que se sabe que entre más técnicas empleadas menos error habrá en el cálculo de composición corporal, por lo que será preferible desarrollar técnicas o modelos matemáticos con el menor error posible que nos permita estimar algún componente de la composición corporal en poblaciones específicas con el objetivo de saber que tan reproducible es.

2.2. Justificación

El sobrepeso y la obesidad actualmente son de los principales problemas de salud pública en México y el mundo, debido a su magnitud representan un importante reto, en este sentido la valoración de la composición corporal es utilizada por profesionales de la salud a la hora de evaluar a personas con normopeso y sobrepeso, ya que determinar la MG de forma individualizada es de importancia para un tratamiento óptimo. En esta investigación se busca desarrollar un modelo ajustado a partir de variables antropométricas utilizando la estandarización ISAK

para su medición, que permita correlacionar la MG medida por PDA y presentar significancia estadística con capacidad predictiva para valoración de mujeres con normopeso y sobrepeso, con el objetivo de ser utilizado por nutriólogos o investigadores en el campo clínico y que sea de utilidad para una mejor valoración de la composición corporal de forma individualizada.

2.3. Hipótesis

Ajustar un modelo lineal múltiple utilizando como principales predictores antropométricos como algunos pliegues cutáneos, perímetros y diámetros, determinados por la metodología ISAK, favorecerá la capacidad predictiva del modelo, que se verá reflejado en el valor del criterio RMSE de la evaluación de la MG de mujeres mexicanas.

2.4. Objetivo general

Desarrollar un modelo de regresión lineal múltiple a partir del método de mínimos cuadrados para predecir la MG en kg de una muestra de mujeres a partir de variables antropométricas utilizando la estandarización ISAK para su medición con criterios estadísticos que así lo comprueben.

2.4.1. Objetivos específicos

1. Desarrollar la metodología experimental adecuada (ISAK), para el levantamiento sistemático de las mediciones antropométricas de una muestra de mujeres mexicanas.
2. Calcular los estadísticos principales (μ , σ) que definan la muestra de estudio.

3. Determinar estadísticamente cuáles son las variables antropométricas pliegues, perímetros y diámetros con mayor correlación a la variable de respuesta MG.
4. Desarrollar el script en el lenguaje R que ajuste los datos obtenidos de la muestra al modelo lineal multivariable implementando el modelo de los mínimos cuadrados.
5. Utilizar coeficiente de determinación (R^2), error estándar de lo residuales (EER), factor de inflación de la varianza (VIF), coeficiente de Mallow's (Cp) y la raíz media de los errores al cuadrado (RMSE) para validar la confiabilidad del modelo generado.

2.5. Metodología

Estudio transversal observacional descriptivo en cuál se busca evaluar la composición corporal con un modelo lineal múltiple utilizando la estandarización ISAK para la toma de mediciones antropométricas que correlacionen a la MG determinada por PDA en una muestra de mujeres con normopeso y sobrepeso.

2.5.1. Población y criterios de inclusión

Por el tipo de estudio transversal observacional descriptivo, el cálculo del tamaño de muestra utilizando ecuaciones como las propuestas por Cochran, Yamane entre otras (Denis, 2020; García-García et al., 2013), no fue posible debido a que se requiere del conocimiento de los valores de la media y desviación estándar de la población de estudio, los cuales no se conocen y no se pueden determinar, además esta investigación no realizó un seguimiento experimental el cual incluya

un grupo control y placebo, solo se buscó estudiar a una muestra que pudiera llegar a ser piloto a la investigación, en este caso mujeres con normopeso y sobrepeso para la evaluación de la MG. Por lo anterior se decidió que el tamaño de la muestra fuera a conveniencia. Se realizó previamente un ejemplo de ajuste de un modelo lineal múltiple utilizando datos obtenidos de la NANHES 2003-2004 con un tamaño de muestra de 162 sujetos (102 hombres y 54 mujeres), demostrándose que los resultados a partir del modelo desarrollado con el tamaño de muestra tomado de un grupo de mujeres mexicoamericanas para la estimación de la MG estadísticamente es correcto, también se comparó el modelo obtenido con resultados de dos investigaciones tomadas como referencias a Castro-Porras et al. (2019) y Lee et al. (2017), donde se demostró que el ajuste de un modelo lineal múltiple es factible con un tamaño de muestra ≥ 60 y puede ser utilizado en la investigación. El tamaño de la muestra total de la presente investigación fue de 95 mujeres, por lo que teniendo en cuenta los resultados del ejemplo previo donde se tiene la certeza que con este tamaño de muestra se obtienen resultados comparables con el ejemplo realizado a partir de los datos obtenidos por la NANHES 2003-2004.

Las personas fueron invitadas a participar de forma personal en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), siendo mujeres mayores de 18 años con un IMC de ≥ 18.5 a 35 kg/m^2 .

Los criterios de exclusión fueron presentar enfermedades crónicas como diabetes, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, enfermedades renales, etc., mujeres

embarazadas, personas con marcapasos o implante metálico que presentaran retención de líquidos en cualquier parte del cuerpo, que estuviera en un tratamiento nutricional para el control o pérdida de peso, ya que previas investigaciones han demostrado que estos criterios pueden influenciar los resultados de la evaluación de la composición corporal por PDA o antropometría.

2.5.2. Comités y consentimiento informado

El protocolo de investigación fue aprobado por el Comité científico y el Comité de bioética de UABC (ANEXO 1), se obtuvo el consentimiento informado por escrito de las participantes previo a cualquier evaluación. El protocolo de estudio se ajustó a las directrices de la Declaración de Helsinki.

2.5.3. Evaluación de laboratorio e instrumentos

Para las evaluaciones las mujeres debían vestir top, short o licra, los criterios inclusión para la realización de las mediciones fueron: el realizar un ayuno nocturno mayor a 8 horas, no haber realizado un ejercicio extenuante el día anterior, así como no haber ingerido alcohol o café 24 hrs antes de la prueba y no fumar cigarrillos el día previo a la prueba. Se les pidió que cada participante haya vaciado su vejiga 30 min antes de empezar la evaluación en el laboratorio. Después de haber registrado correctamente los datos de las participantes y firmado el consentimiento informado, cada una completó las pruebas de PDA y mediciones antropométricas que fueron tomadas por un instructor ISAK nivel 3, el mismo día y dentro de la misma hora en que fueron citadas.

2.5.4. Equipo experimental

Antropometría: Kit antropométrico de bajo costo es calibrado con los equipos de investigación realizado por el Instructor ISAK nivel 3 (báscula digital, estadímetro, plicómetro, antropómetro, banco antropométrico) los cuales se utilizaron para la determinación de la masa corporal, talla, perímetros, diámetros y pliegues cutáneos de la población de estudio. Para el registro de los datos se utilizó una proforma antropométrica para la recolección de los datos antropométricos, masa corporal, talla, pliegues cutáneos, perímetros y diámetros de cada sujeto de estudio.

La altura fue medida sin zapatos usando un estadiómetro de pared SECA-206 al 0.1 cm más cercano.

El peso corporal fue medido con ropa ligera y sin zapatos usando la báscula digital del equipo PDA.

Los pliegues cutáneos, perímetros y diámetros fueron medidos siguiendo el protocolo ISAK utilizando un plicómetro SlimGuide con una sensibilidad de 1 mm, cinta antropométrica Lufkin y antropómetros marca ROSSCRAFT y SMARMET. Todas las mediciones fueron tomadas del lado derecho del cuerpo por duplicado.

Los puntos anatómicos del perfil restringido como peso corporal, talla, pliegues cutáneos, perímetros y algunos del perfil completo como diámetro biliocrestal y anteroposterior del abdomen, se describe la toma, técnica e instrumentos para la toma de los puntos anatómicos medidos en la investigación (ANEXO 3).

2.5.5. Masa grasa en equipo de validación

Antes de la medición, el equipo de PDA fue calibrado con las recomendaciones del fabricante, después de la calibración, las participantes ingresaron al equipo vistiendo licra y top, gorra de nadar y sin joyería, el volumen corporal de las participantes fue medido mientras las mujeres permanecían sentadas correctamente, con las manos sobre sus rodillas, manteniendo una frecuencia de respiración normal, evitando movimientos bruscos. El volumen de gas torácico fue determinado por el equipo y se obtiene el %MG a partir de la ecuación de Siri.

2.5.6. Análisis estadístico

La muestra total 95 mujeres fue dividida en dos grupos, el primer grupo llamado muestra de ajuste 70 mujeres y la segunda muestra de validación 25 mujeres, se eligió esta distribución, ya que al ser una muestra pequeña y a conveniencia se considera que el grupo ajuste debe de tener la mayor cantidad de muestra posible el cual permita obtener valores estadísticos adecuados a la predicción de la MG y con la muestra de validación que no fueron contemplados en el modelo validar el modelo elegido que prediga adecuadamente la MG en mujeres con similitudes al grupo de ajuste. La estadística descriptiva fue determinada para todos los datos univariantes (predictores y variable de respuesta), se realizaron pruebas estadísticas para validar la normalidad de datos univariantes a partir de histogramas, gráficas de caja, Q-Q plot y pruebas de Shapiro-Wilk, se calculó la correlación lineal de cada uno de los predictores de forma bivariada contra la variable de respuesta utilizando la correlación de Pearson, se ajustó un modelo lineal múltiple utilizando el método de mínimos cuadrados, se determinó la

significancia estadística de los parámetros utilizados en el modelo, se evaluó la homocedacidad de los residuos generados por el modelo de manera gráfica. Catorce variables predictoras son consideradas de interés, las cuales son ingresadas al modelo como primer intento siendo estas: peso, talla, 6 pliegues cutáneos tricipital, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo, pierna, perímetros cuello, brazo, cintura, cadera, diámetros, anteroposterior del abdomen y biliocrestal. Se probaron diferentes modelos utilizando combinaciones parciales de todos los predictores disponibles y se obtuvo el valor de cinco criterios estadísticos R^2 , EER, VIF, C_p , RMSE para la selección del mejor modelo. El modelo más parsimonioso con el valor más bajo de RMSE fue el elegido. La homocedacidad y distribución normal de los residuales de regresión múltiple fueron verificados por R^2 , el EER y graficados verificando la homocedacidad de las varianzas de los residuos. Se calculó el VIF para evaluar la colinealidad de los predictores, el cual dice que valores $VIF > 10$ entre los predictores podrían estar midiendo lo mismo, lo cual podría resultar que el modelo no fuera parsimonioso, aunque la colinealidad no impacta en la potencia predictiva del modelo se busca que el modelo presente una baja colinealidad entre sus predictores. Además de calcular el VIF con la finalidad de que el modelo elegido sea parsimonioso se realiza un Coeficiente de Mallows donde se busca un valor que sea pequeño y cercano al número de parámetros elegidos para el modelo final. Por último, se calculó el RMSE tanto la muestra de ajuste como para la muestra de validación, la diferencia entre estos dos indica la capacidad predictiva del modelo propuesto, es decir sobre sujetos que no hayan sido contemplados en el ajuste del modelo. El análisis estadístico fue realizado usando R versión 4.0.3.

Capítulo 3

3.1. Resultados y discusión

La investigación fue planteada en una muestra de mujeres que presentaran sobrepeso y obesidad residentes del norte del país, para ajustar un modelo lineal múltiple a partir de variables antropométricas. Reunir la muestra de estudio presentó dificultades debido a la pandemia, las operaciones normales de las instituciones escolares se vieron afectadas por un cierre total. Lo anterior limitó el tiempo de manera importante para invitar y medir a la población objetivo, por lo tanto, se decidió de manera conjunta con el director de la tesis utilizar los datos de mujeres con IMC $> 18 \text{ kg/m}^2$ para ser tomados en cuenta en la investigación.

La muestra obtenida finalmente fue conformada por 95 participantes de entre edades de 18-66 años, 38 de ellas de Ciudad Juárez (CJ), Chihuahua, así como de 57 de Tijuana (TJ), Baja California, que fueron evaluadas tanto en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la UACJ, así como en el Laboratorio de Composición Corporal de la UABC en las dos etapas de este trabajo y los datos son presentados en el (ANEXO 2).

De la muestra total, se realizó una subdivisión de forma aleatoria por medio de un algoritmo escrito en R, con la cual se generó la muestra denominada de ajuste, la cual está conformada por 70 mujeres con edad 18-66 años y con un IMC de 18.2-45 kg/m^2 y la muestra denominada de validación conformada por 25 mujeres con edad 18-66 años, IMC 18.9-37.2 kg/m^2 .

Antes de llevar a cabo el análisis estadístico descriptivo general de la muestra total 95 mujeres, se realizó la prueba de t de Student para determinar la independencia de la muestra de CJ y TJ, en las Figuras 1 y 2 se muestra la comparación de la masa corporal y la MG para ambos grupos donde se observa que el valor de la media de la masa corporal de la muestra de CJ es de 66.8 ± 13.4 (kg) y de las mujeres de TJ es de 63.3 ± 13.4 (kg). En lo que respecta a la MG se observa que las mujeres de CJ tienen una media de 22.4 ± 11.3 (kg) y para las mujeres de TJ el valor es de 21.7 ± 9.9 (kg), las diferencias observadas no son significativas entre ellas, se realizó la prueba de Levene (ANEXO 4), lo cual arrojó que las varianzas de las muestras son similares entre sí, lo cual indica que no hay problema en juntar las muestras para ajustar un modelo.

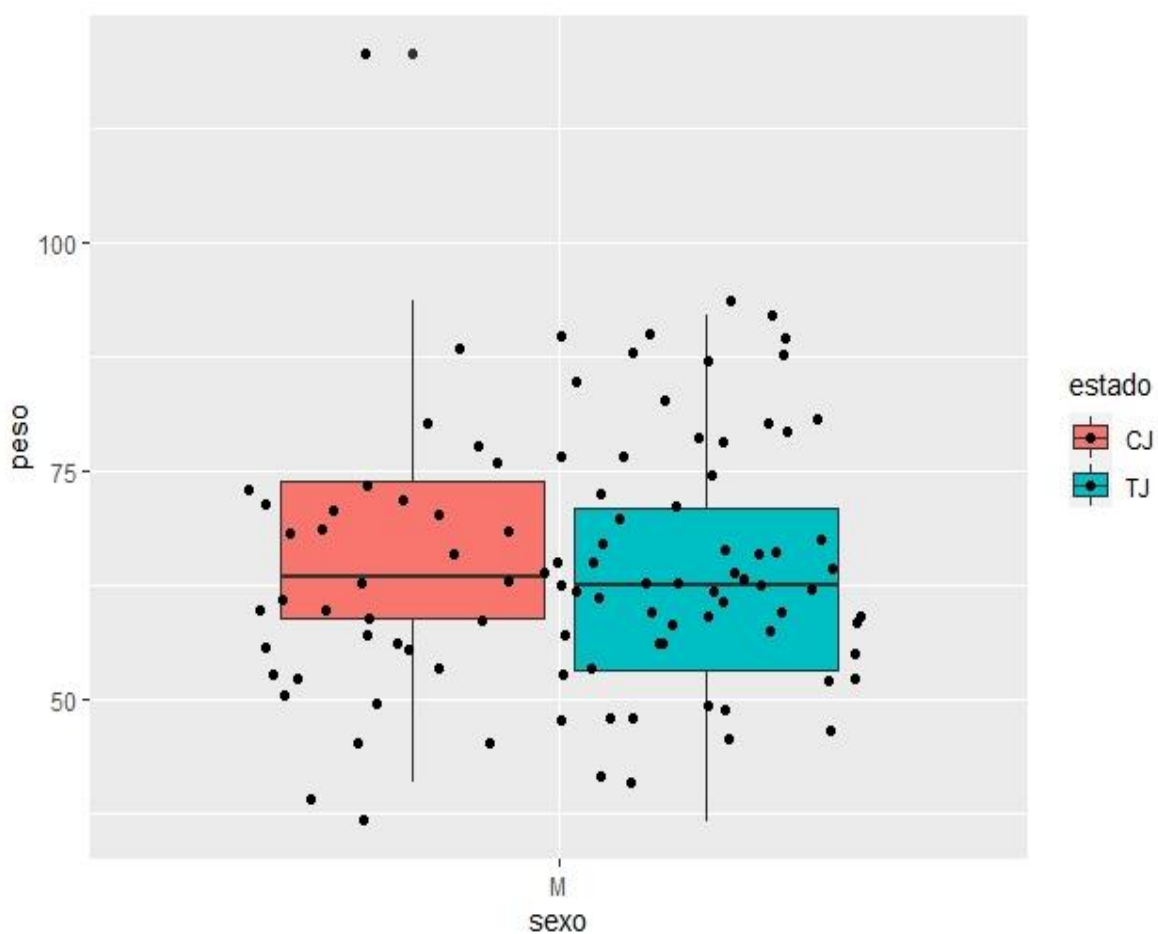


Figura 1. Gráfica de caja comparando la masa corporal del grupo de mujeres de Ciudad Juárez (CJ) y Tijuana (TJ)

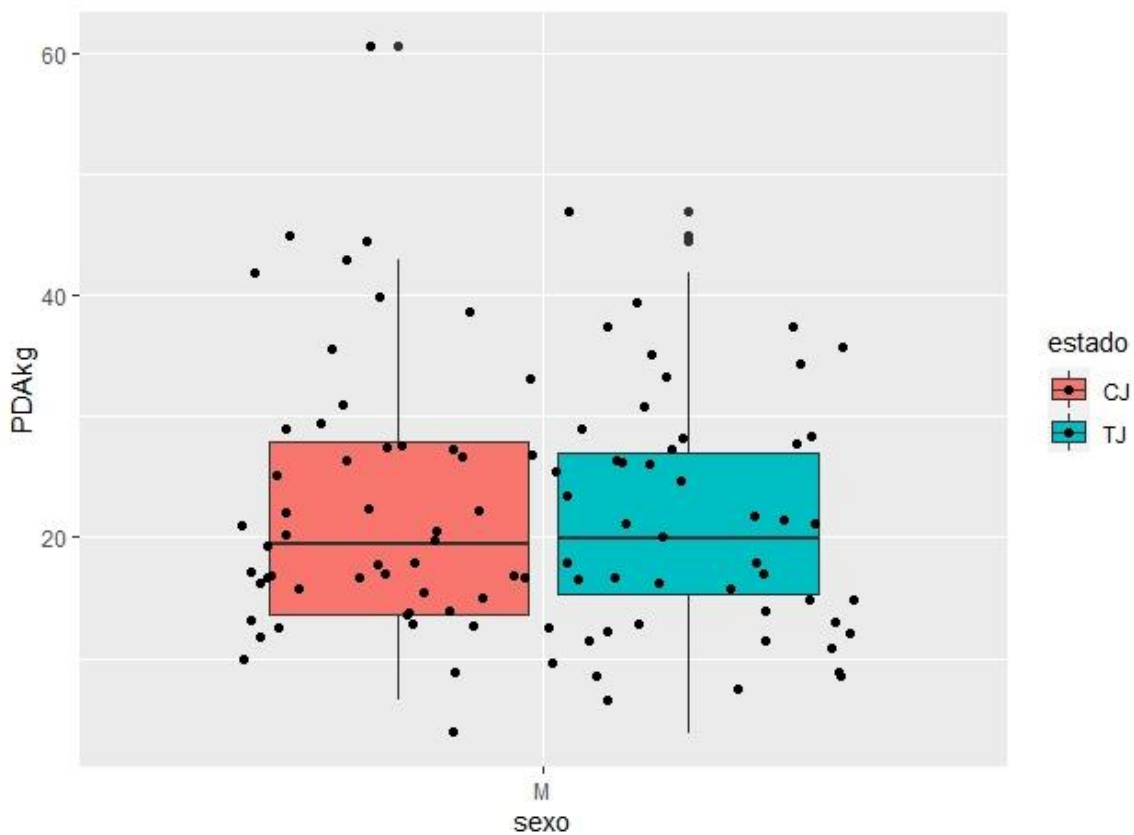


Figura 2. Gráfica de caja comparando la masa grasa calculada por PDA en la muestra de mujeres de Ciudad Juárez (CJ) y Tijuana (TJ)

Se realizó el análisis estadístico descriptivo para cada una de las variables medidas de la muestra total de los valores obtenidos son reportados en la Tabla 1 y gráficamente en la Figura 3.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos generales muestra total de mujeres participantes en el estudio.

Variables	μ σ
PDA Masa Grasa (kg)	22.8±10.1
Peso (kg)	65.8±13.4
Talla (m)	1.60±0.06
Edad (años)	24.4±9.3
Pliegues Cutáneos	
Tricipital (mm)	23.2±6.4
Subescapular (mm)	21.7±8.5
Supraespinal (mm)	20.8±9.6
Abdominal (mm)	28.9±12.2
Muslo (mm)	25.2±8.9
Pierna (mm)	22.0±7.9
Circunferencias y Diámetros	
Cir. Cuello (cm)	32.9±2.7
Cir. brazo (cm)	29.3±4.0
Cintura (cm)	77.9±13.0
Cadera (cm)	100.7±9.7
A-P del Abdomen (cm)	22.1±3.9
Biliocrestal (cm)	27.1±2.6
Trabaja Si/No (%)	40.0 / 60.0
Actividad física Si/No (%)	44.2 / 55.8

Los datos se muestran como media \pm desviación estándar. PDAkg, masa grasa estimada por pletismografía por desplazamiento de aire; Cir. Cuello, circunferencia de cuello cm; Cir.brazo, circunferencia de brazo cm; A-P Abdomen, anteroposterior del abdomen cm.

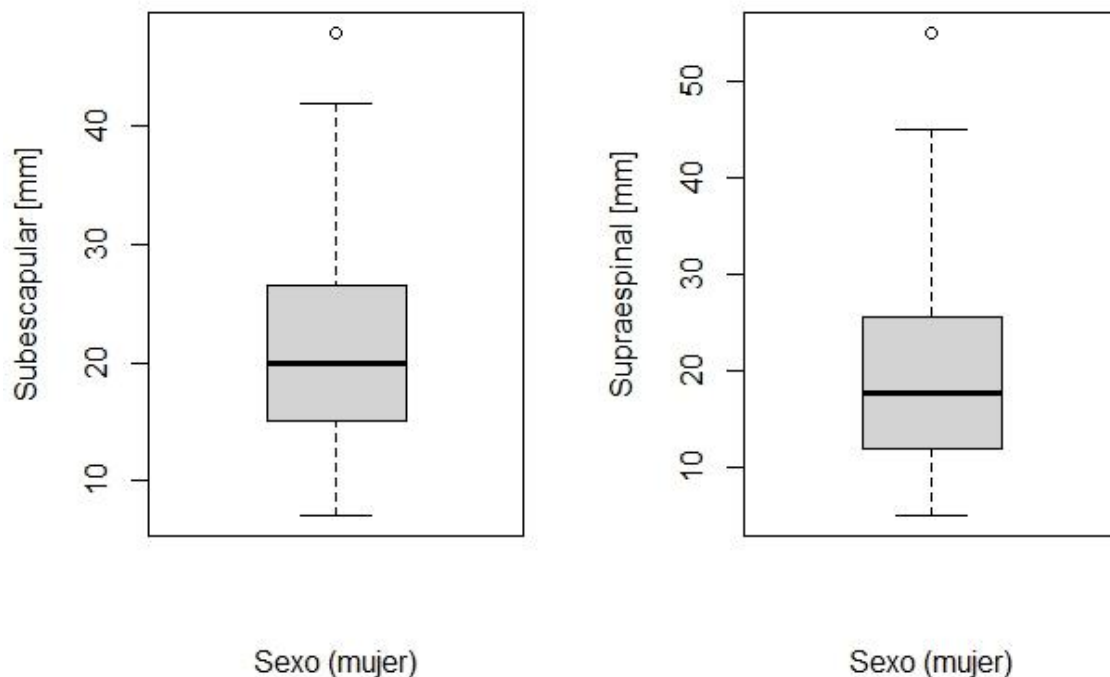


Figura 3. Gráfica de cajas de los datos univariantes de los pliegues subescapular (mm) y supraespal (mm) de la muestra total de 95 mujeres; mm: milímetros.

En la Tabla 1 se presentan las (μ, σ) muestra total y de forma gráfica se presentan los gráficos de cajas Figura 3 de los pliegues subescapular y supraespal evaluados de la muestra total en la cual se muestra el resumen de cinco valores numéricos (Versani, 2004), el cual contiene el valor mínimo, la bisagra inferior, la mediana, la bisagra superior y el valor máximo, la mediana en la gráfica es el punto que divide la distribución en dos partes eso es la mitad de las observaciones estarán por debajo y por arriba de la mediana, las bisagras representan los percentiles 25 y 75 respectivamente, la mediana es referida como el percentil 50, los valores mínimos y máximos o “bigotes” corresponden al rango Inter cuartil, al

final esto nos ayuda a dar una idea de que tan compacto es la distribución de la muestra obtenida (Denis, 2020), las demás gráficas se presentan en el (ANEXO 5). Se realizaron histogramas, gráficas q-q y prueba de Shapiro-Wilk para cada una de las variables, con la finalidad de inferir si existe tendencia a la distribución normal para cada una, recordando que la hipótesis nula (H_0) de la prueba de Shapiro-Wilk menciona que los datos de una muestra están normalmente distribuidos si el valor alfa calculado es < 0.05 .

Los estadísticos obtenidos para la MG son presentados en la Figura 4, la gráfica permite inferir una normalidad en los datos de la muestra, en el histograma se observa una sola moda y la gráfica q-q (lado derecho) los cuantiles reales vs los teóricos presentan una tendencia lineal, el valor de p para la prueba de Shapiro-Wilk fue de 0.0067 lo que indica que la suposición de normalidad no se cumple (Denis, 2020), analizando los resultados obtenidos, para poder aceptar la hipótesis nula se podría aumentar el tamaño de muestra como lo establece la teoría de los grandes números, lo cual menciona que al aumentar el tamaño de una muestra tomado de una población esta tendera a distribuirse de manera normal (Verzani, 2004), con lo que respecta solo las variables evaluadas perímetro de brazo rejado y diámetro biliocrestal presentan un valor de p mayor a la significancia en la prueba de normalidad con valores de 0.3604 y 0.1351 respectivamente (ANEXO 6).

Las variables medidas presentan una tendencia a la distribución normal, sin embargo, sería aconsejable aumentar el tamaño de la muestra para cumplir con el precepto de normalidad en nuestros datos, lo anterior será una recomendación para tomar en cuenta para investigaciones futuras.

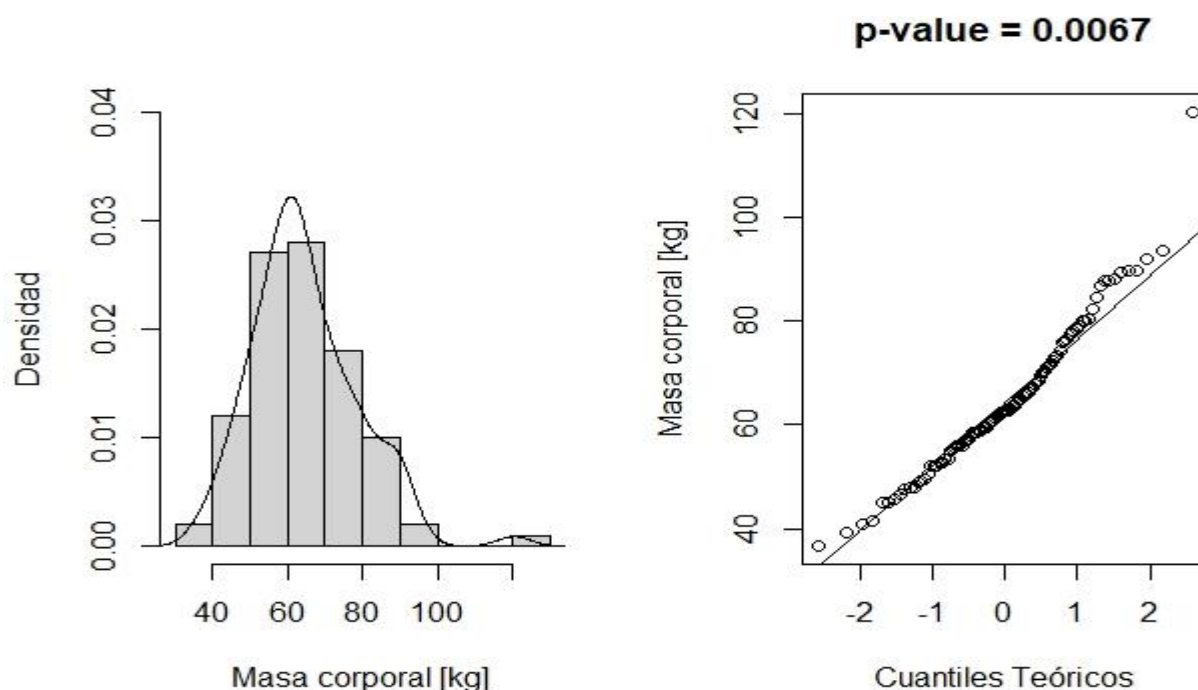


Figura 4. Análisis univariante de la variable masa corporal histograma lado (izquierdo) y gráfico Q-Q lado (derecho) y valor de la prueba de Shapiro-Wilk parte superior derecha de la muestra total.

Se calculó el momento-producto de Pearson o r de Pearson (Denis, 2020) para todas las interacciones bivariantes que se generan entre los predictores medidos, el valor de r es una medida de la relación lineal entre dos variables continuas, si existe una relación lineal entre la variable x y la variable z el valor de r tendrá valores cercanos a 1 o -1 indicando una fuerte relación lineal, valores cercanos a 0 indican una relación lineal débil los resultados se muestran en la Figura 5 y en la Tabla 2.

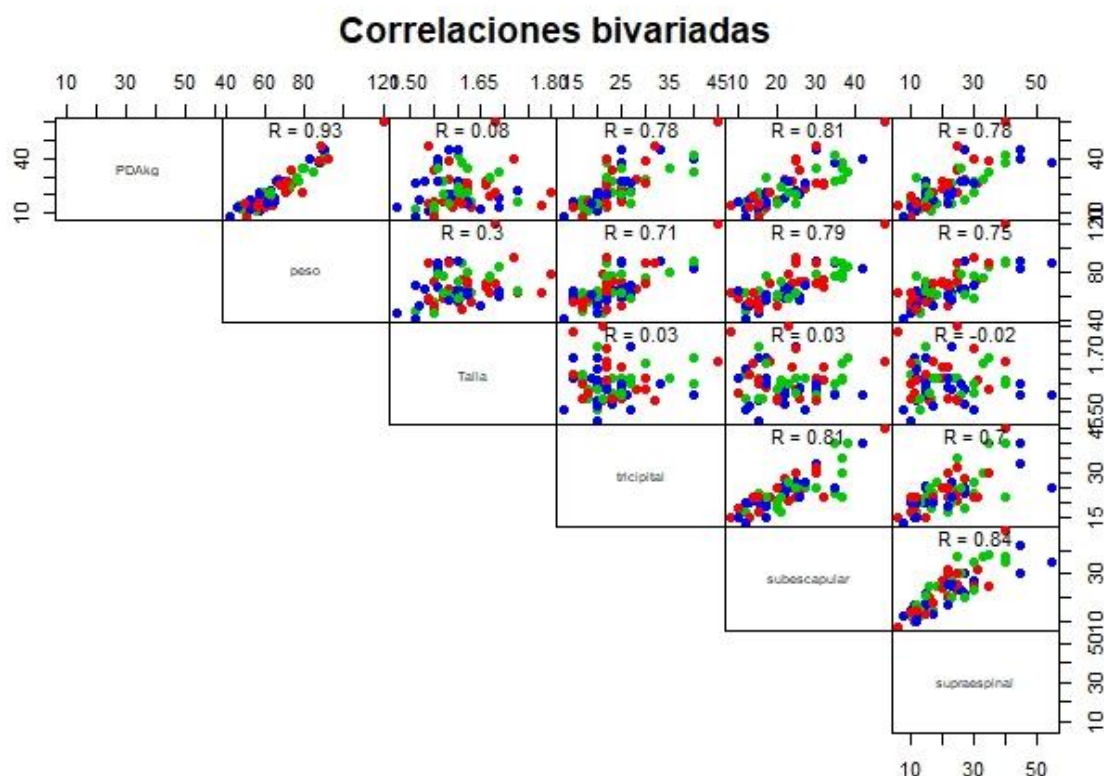


Figura 5. Grafica de correlaciones r de Pearson con la variable de respuesta PDAkg vs todos los predictores medidos.

Tabla 2. Matriz de correlaciones a partir de r Pearson de la variable de respuesta obtenida por PDA vs los predictores

	PDA kg	peso (kg)	talla (m)	tricipital (mm)	Subescapular (mm)
PDA kg	1	0,951	-0,020	0,846	0,883
peso(kg)	0,951	1	0,110	0,821	0,882
talla(m)	-0,020	0,110	1	0,027	-0,079
tricipital(mm)	0,846	0,821	0,027	1	0,841
subescapular(mm)	0,883	0,882	-0,079	0,841	1
supraespinal(mm)	0,841	0,797	-0,230	0,694	0,845
abdominal(mm)	0,936	0,919	-0,111	0,813	0,939
muslo(mm)	0,830	0,806	-0,019	0,818	0,820
pierna (mm)	0,859	0,819	0	0,770	0,790
C. Cuello(cm)	0,807	0,850	-0,082	0,642	0,822
C. Brazo(cm)	0,893	0,926	-0,107	0,800	0,826
Cintura (cm)	0,937	0,946	-0,112	0,772	0,871
Cadera (cm)	0,941	0,915	-0,104	0,835	0,847
A-P Abdomen	0,935	0,921	-0,096	0,764	0,858

(cm)					
Biliocrestal (cm)	0,816	0,766	0,084	0,637	0,672

supraespinal(mm)	abdominal(mm)	muslo (mm)	pierna (mm)	C. cuello(cm)
0,841	0,936	0,830	0,859	0,807
0,797	0,919	0,806	0,819	0,850
-0,230	-0,111	-0,019	0,000	-0,082
0,694	0,813	0,818	0,770	0,642
0,845	0,939	0,82	0,790	0,822
1	0,919	0,753	0,774	0,809
0,919	1	0,843	0,857	0,855
0,753	0,843	1	0,882	0,670
0,774	0,857	0,882	1	0,705
0,809	0,855	0,670	0,705	1
0,743	0,869	0,749	0,789	0,843
0,877	0,937	0,780	0,806	0,913
0,800	0,887	0,779	0,833	0,766
0,902	0,940	0,786	0,849	0,875
0,678	0,776	0,632	0,725	0,758

C. Brazo(cm)	Cintura (cm)	Cadera (cm)	A-P Abdomen (cm)	Biliocrestal (cm)
0,893	0,937	0,941	0,935	0,816
0,926	0,946	0,915	0,921	0,766
-0,107	-0,112	-0,104	-0,096	0,084
0,800	0,772	0,835	0,764	0,637
0,826	0,871	0,847	0,858	0,672
0,743	0,877	0,800	0,902	0,678
0,869	0,937	0,887	0,940	0,776
0,749	0,780	0,779	0,786	0,632
0,789	0,806	0,833	0,849	0,725
0,843	0,913	0,766	0,875	0,758
1	0,925	0,869	0,870	0,733
0,925	1	0,875	0,972	0,788
0,869	0,875	1	0,884	0,715
0,870	0,972	0,884	1	0,801
0,733	0,788	0,715	0,801	1

PDAkg, masa grasa en kg estimada por pletismografía por desplazamiento de aire; C.cuello, circunferencia de cuello cm; C. Brazo, circunferencia de brazo cm; A-P Abdomen, anteroposterior del abdomen en cm; cm, centímetros; mm, milímetros; kg, kilogramos.

Los resultados obtenidos a partir de la correlación de Pearson muestran que la variable de respuesta MG y las variables antropométricas evaluadas muestran una relación lineal fuerte, la única excepción es la talla donde gráficamente se observa una nula relación entre esta y la MG presentando un valor de $r = -0.02$, también se muestran el valor de las correlaciones entre las variables antropométricas, de igual manera muestran una relación lineal moderada a fuerte, nuevamente la talla correlacionándola contra cada una de las demás variables muestran una correlación débil.

El modelo lineal múltiple se ajustó en primera instancia utilizando la muestra de ajuste 70 mujeres y se utilizaron los 14 predictores antropométricos. Al modelo obtenido se le denomina **M14p** el cual cuenta con el mismo número de parámetros el valor de los cuales se muestra en la Tabla 3, en la primera columna se observa el valor estimado del parámetro que acompaña a cada uno de los predictores, la segunda columna contiene el error estándar en el cálculo de los coeficientes (entre mayor sea el valor de error estándar del parámetro ajustado esto se traduce en disminución de la significancia estadística del parámetro dentro del modelo), la significancia es evaluada con la prueba t , en la cuarta columna se muestran los parámetros con significancia estadística del modelo los cuales son marcados con tres, dos, un asterisco “***”, “**”, “*”, con valores de 0, 0.001, 0.01, respectivamente, y algunos coeficientes marcados por un punto con un valor del 0.05 que son parcialmente significativos al modelo ajustado.

Tabla 3. Valores ajustados de los parámetros del modelo M14p

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(< t)
(Intercept)	12.4259	16.4361	0.76	0.4529
<i>peso</i>	0.5370	0.1169	4.59	2.59e-5***
<i>Talla</i>	-24.5304	6.7067	-3.66	0.0006***
<i>tricipital</i>	0.1124	0.0993	1.13	0.2626
<i>subescapular</i>	-0.0114	0.1067	-0.11	0.9152
<i>supraespinal</i>	-0.0333	0.0653	-0.51	0.6122
<i>abdominal</i>	0.0922	0.0899	1.03	0.3097
<i>muslo</i>	0.0866	0.0645	1.34	0.1849
<i>pierna</i>	0.1260	0.0682	1.85	0.0701.
<i>C.cuello</i>	-0.5246	0.3113	-1.69	0.0976.
<i>C. brazo</i>	-0.5146	0.2358	-2.18	0.0334 *
<i>Cintura</i>	0.1804	0.1226	1.47	0.1469
<i>Cadera</i>	0.1236	0.1104	1.12	0.2677
<i>Biliocrestal</i>	0.5497	0.1968	2.79	0.0072**
<i>A-P Abdomen</i>	-0.1915	0.3408	-0.56	0.5764

Significancia: 0 “****”, 0.001 “***”, 0.01 “**”, 0.05 “.”, 0.1 “ ”, EER: 2.4; R²: 0.95; R²_{Adj}: 0.94; P : <2.2E-16. EER, error estandar de los residuales; R² coeficiente de determinación; R²_{Adj}, coeficiente de determinación ajustado; P, p-valor.

El modelo **M14p** presentó una R² = 0,95 y una R²_{Adj} = 0,94 y un valor de EER = 2.4 (kg) y un p-valor = < 2.2e-16, este primer modelo ajustado presenta criterios estadísticos adecuados (Denis, 2020), los residuos son presentados en la Figura 6, donde se observa que presentan homocedacidad, es decir, que presentan buena dispersión y la varianza se mantiene constante en todo el intervalo evaluado por el modelo presenta un error de ±4 kg. En la Figura 7 se presenta el gráfico q-q, el cual permite inferir que los residuos presentan una tendencia a la normalidad.

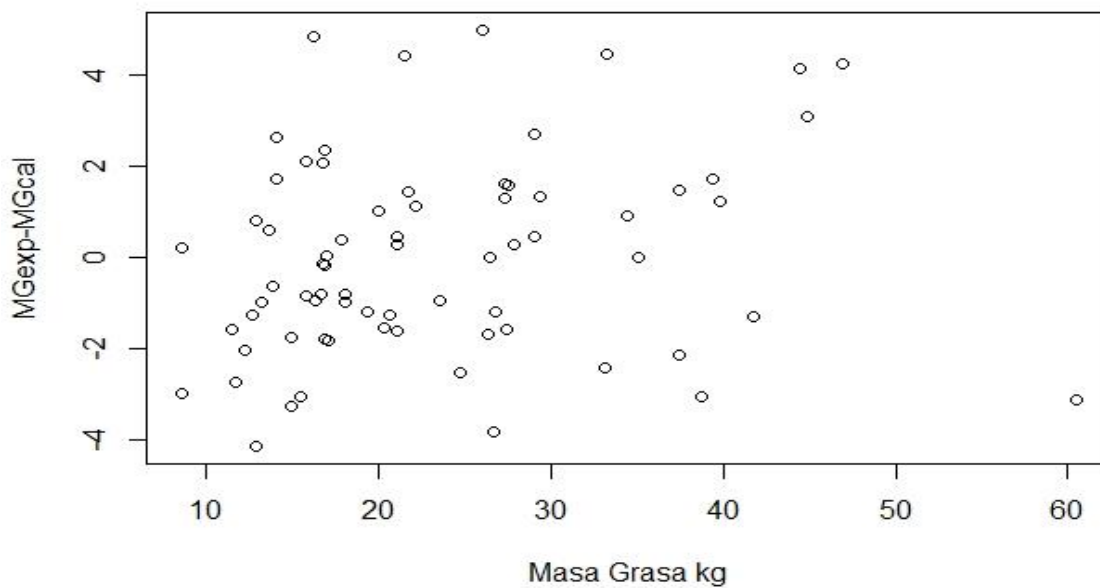


Figura 6. Gráfico de los residuales del modelo M14p; MGexp, masa grasa experimental kg; MGcal, masa grasa calculada kg.

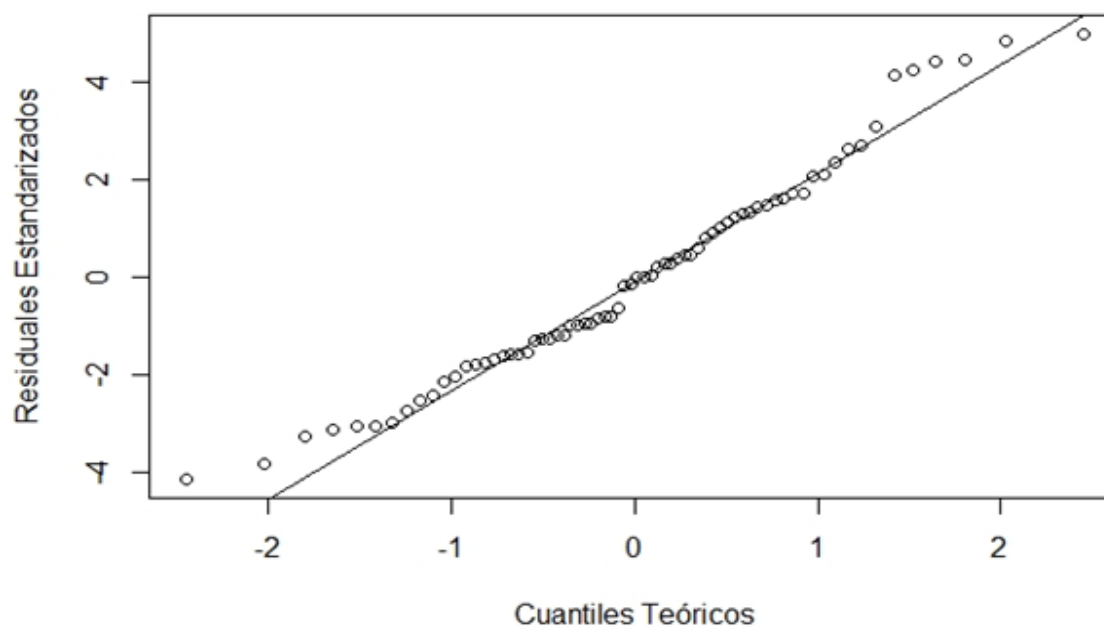


Figura 7. Gráfica q-q de los cuantiles de los residuales de la masa grasa predichos por el modelo M14p

Se realizó el análisis VIF para verificar que los parámetros ingresados no presenten colinealidad entre sí en la Tabla 4, valores de VIF > 10 nos indican que aquellos parámetros con un valor elevado podrían estar cuantificados en varianzas similares a otro parámetro dentro del modelo, lo anterior hace que el modelo no sea parsimonioso, lo que puede causar que el modelo sobre ajuste, una forma de verificar es por medio del VIF (Denis, 2020). Los valores del VIF mostrados en la Tabla 4 muestran que los parámetros del peso, pliegue abdominal, perímetro de cintura, perímetro de cadera y el diámetro anteroposterior del abdomen, presentan valores de VIF > 10 los cuales serían candidatos para quitarse en el modelo.

Tabla 4. Valores VIF calculados de los predictores del modelo M14p

Peso	Talla	Tricipital	Subescapular	Supraespinal	Abdominal	Muslo
29.72	2.15	4.39	9.61	4.87	13.85	3.99
Pierna	C.cuello	C.brazo	Cintura	Cadera	Biliocrestal	A-P abdomen
3.49	7.36	9.81	24.38	13.66	2.69	21.26

El modelo **M14p** es mostrado en la Ecuación 14.

$$\mathbf{MG}_{M14p} = 12.42 + 0.53 P - 24.5 T + 0.11 \text{ Tri} - 0.01 \text{ Sub} - 0.03 \text{ Sup} + 0.09 \text{ Abd} + 0.08 \text{ Mus} + 0.12 \text{ Pier} - 0.52 \text{ PC} - 0.51 \text{ PB} + 0.18 \text{ PCi} + 0.12 \text{ PCa} + 0.54 \text{ DBi} - 0.19 \text{ DAP}$$

$$R^2_{\text{Adj}} = 0.94$$

$$\text{EER} = 2.46 \text{ kg}$$

(Ecuación 14)

Por lo mostrado en los resultados obtenidos del análisis sobre los parámetros del modelo **M14p** existe la posibilidad de mejorar en lo que respecta a la significancia estadística de los parámetros y observar también lo concerniente a la capacidad predictiva del modelo evitando el sobreajuste, por lo cual se decidió realizar un nuevo modelo en el cual sólo queden los parámetros con valores de $VIF < 10$.

Para tomar una decisión basada en la estadística sobre cuáles parámetros eliminar del modelo **M14p**, se mencionó en los antecedentes que el análisis de C_p (Faraway, 2004) es un criterio adecuado para este fin, en la Figura 8 se muestra el valor de C_p vs el número de parámetros usados en el ajuste del modelo, un modelo con un valor de C_p mayor al número de parámetros (p) presentará problemas de colinealidad. Graficar el valor de C_p contra p como se muestra en la Figura 8, se observó que el valor de C_p disminuye conforme se aumenta el número de parámetros, la gráfica muestra de un mínimo, el cual se encuentra en el intervalo de 8-10 parámetros, en lado derecho se muestra el valor del coeficiente de determinación para cada uno de los modelos ajustados, el valor de R^2_{Adj} es tomado como segundo criterio, el cual nos diga que tanto disminuye al retirar parámetros, se recuerda que el máximo valor del R^2 se obtendrá al utilizar 14 variables, lo que se busca en este análisis es tener el mejor compromiso entre la complejidad del modelo en el sentido de penalizar los modelos con más variables necesarias para describir la variable de respuesta y poder seleccionar el número óptimo de variables para ajustar la MG de la muestra.

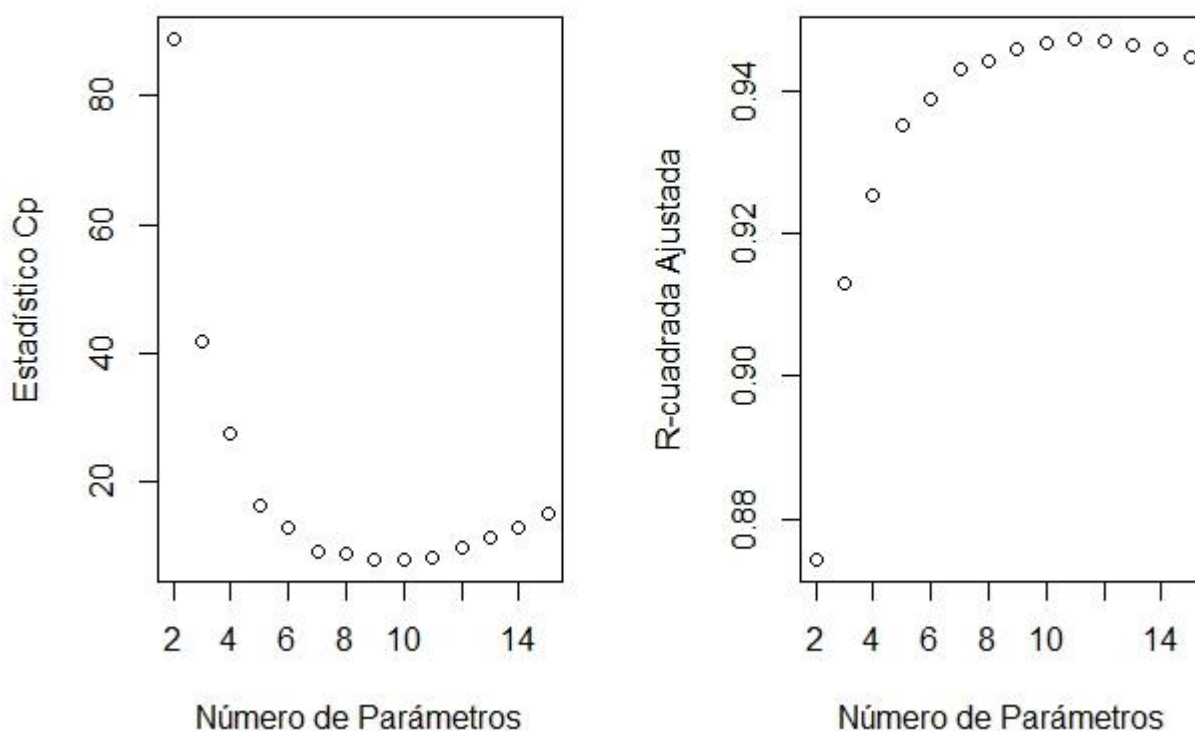


Figura 8. Gráfico del coeficiente de Mallow's, lado (izquierdo) número de parámetros a elegir, lado (derecho) gráfico con los valores de coeficiente de determinación ajustado de acuerdo con el número de parámetros a elegir.

Con la información proporcionada por el C_p se observa que un modelo con 9 parámetros (8 parámetros + el intercepto) es el más indicado para ser ajustado en la presente investigación y el cual tiene un valor de $C_p = 7,84$ menor al número de parámetros y manteniendo un R^2_{Ajd} de 0.94 aproximadamente (Faraway, 2004).

Se realizaron ajustes y se probaron diferentes combinaciones de las 14 variables utilizando cada vez el valor de VIF, C_p y R^2_{adj} como guía para determinar entre los modelos ajustados calculados (Tabla 5), el modelo elegido finalmente fue

denominado **M9p** el cual fue mencionado anteriormente en el cálculo de C_p , el cual presenta valores adecuados a los demás modelos.

Tabla 5. Modelos ajustados para la estimación de la MG usando diferentes variables antropométricas (Continua)

	Modelo 3p			Modelo 4p			Modelo 5p			Modelo 6p		
	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)
Intercepto	25.71	9.73	0.0103*	11.4	7.76	0.146	4.87	8.48	0.56	3.08	8.78	0.72
peso (kg)	0.76	0.02	<2e-16***	0.62	0.03	<2e-16***	0.54	0.04	<2e-16***	0.56	0.04	<2e-16***
T (cm)	-33.02	6.4	2.44e-06***	-22.32	0.06	4.15e-05***	-24.1	5.36	2.98e-05**	-23.25	5.57	9.18e-05***
TRI (mm)										0.14	0.07	0.06434.
SUB (mm)												
SUP (mm)												
ABD (mm)												
MUS (mm)												
PIER (mm)				0.27	0.06	5.69e-05***	0.27	0.06	0.000123***	0.15	0.06	0.01499*
CCU (cm)												
CB (cm)												
CIN (cm)												
CAD (cm)												
APA (cm)												
BIL (cm)							0.53	0.19	0.008558**	0.49	0.16	0.00474**
R ²		0.91			0.92				0.93			0.94
R ² adj		0.91			0.92				0.92			0.93
EER		3.05			2.72				2.71			2.58
VIF		1.14			2.02				2.32			2.48
C _p		41.6			27.4				16.24			12.83
RMSE		2.16			2.12				2.16			2.27
RMSEv		2.93			2.86				2.34			2.41

(Continuación Tabla 5)

Modelo 7p			Modelo 8p			Modelo 9p			Modelo 10p		
Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)	Coef.	SE	Pr(> t)
11.56	10.92	0.29	8.08	9.97	0.42	-29.2	5.01	2.33e-7***	11.88	9.21	0.2
0.57	0.06	8.80e-14***	0.51	0.06	7.37e-12***	0.36	0.05	1.59e-8***	0.48	0.06	3.13e-11***
-24.8	5.29	1.56e-05***	-20.99	5.52	0.00033***				-21.15	5.35	0.000209***
0.29	0.07	0.000203***	0.17	0.07	0.03054*	0.18	0.1	0.0930.	0.08	0.07	0.269902
						-0.12	0.11	0.29			
0.05	0.06	0.35				0.01	0.07	0.88	0.03	0.06	0.52
						0.19	0.08	0.0311*			
						0.12	0.07	0.0965.	0.13	0.05	0.024975*
			0.19	0.06	0.00515**	0.15	0.07	0.0462*	0.14	0.06	0.024656*
-0.42	0.22	0.059039.	-0.36	0.23	0.11				-0.48	0.22	0.034539*
			0.1	0.05	0.04065*				0.09	0.05	0.072486.
0.7	0.17	0.000186***	0.36	0.18	0.05048.	0.51	0.22	0.0243*	0.44	0.17	0.012606*
	0.93			0.94			0.93			0.95	
	0.93			0.94			0.92			0.94	
	2.51			2.53			2.9			2.32	
	3.24			4.12			4.8			4.5	
	9.11			8.90			7.84			7.86	
	2.13			2.25			2.15			1.99	
	2.84			2.38			2.52			2.77	

Coef., coeficiente; SE, error estandar; TRI, tricpital mm; SUB, subescapular mm; SUP, supraespinal mm; ABD, abdominal mm; MUS, muslo mm; PIER, pierna mm; CCU, circunferencia cuello cm ;CRB, circunferencia brazo cm; CIN, cintura cm; CAD, cadera cm, APA, antero-posterior del abdomen cm; BIL,

biliocrestal cm; R^2 , coeficiente de determinación; R^2_{adj} , coeficiente de determinación ajustado, EER, error estandar de los residuales; VIF, factor de inflación de la varianza; C_p , coeficiente de Mallows; RMSE, raíz media de los errores al cuadrado muestra; $RMSE_v$, raíz media de los errores al cuadrado validación; $Pr(|t|)$, 0 "****"; 0.001 "***"; 0.01 "**"; 0.05 "." ; $P < 2.2e-16$

El modelo que al final mostró mejores valores para los diversos criterios R^2_{Adj} , VIF, C_p fue elegido, el cual quedó conformado por los predictores de peso, 6 pliegues cutáneos y el diámetro biliocrestal, 7 de los 9 parámetros presentan significancia estadística como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Modelo ajustado M9p

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
<i>(Intercept)</i>	-29.2037	5.0169	-5.82	2.33e-7***
<i>peso</i>	0.3654	0.0561	6.51	1.59e-8***
<i>Tricipital</i>	0.1852	0.1085	1.71	0.0930.
<i>Subescapular</i>	-0.1216	0.1150	-1.06	0.2944
<i>Supraespinal</i>	0.0112	0.0743	0.15	0.8805
<i>Abdominal</i>	0.1905	0.0863	2.21	0.0311*
<i>Muslo</i>	0.1266	0.0750	1.69	0.0965.
<i>Pierna</i>	0.1545	0.0759	2.04	0.0462*
<i>Biliocrestal</i>	0.5112	0.2214	2.31	0.0243*

Significancia: 0 “***”; 0.001 “**”; 0.01 “*”; 0.05 “.”; 0.1 “ “; EER: 2.9; R^2 : 0.93; R^2_{adj} : 0.92; P : < 2.2e-16. EER, error estandar de los residuales; R^2 , coeficiente de determinación; R^2_{adj} : coeficiente de determinación ajustado; P , p-valor.

Los valores de los criterios estadísticos para el modelo ajustado fueron $R^2= 0,93$, $R^2_{Adj}= 0,92$ y de un EER= 2.9 kg y un p-valor < 2.2e-16. En la Figura 9 se muestra los residuos obtenidos con el modelo **M9p**, como se observa presenta una distribución homocedastica alrededor del 0, con una varianza de ± 4 kg, sin embargo, se muestra que alrededor del 85% de los datos de la muestra se encuentran dentro de la zona de ± 2 kg, en la gráfica q-q se muestra en la Figura 10 se observó que los cuantiles presentan una tendencia lineal, lo cual confirma que su distribución es homogénea, en la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo un valor $p = 0,70$ lo que permite inferir que los residuos presentan una tendencia a la distribución normal.

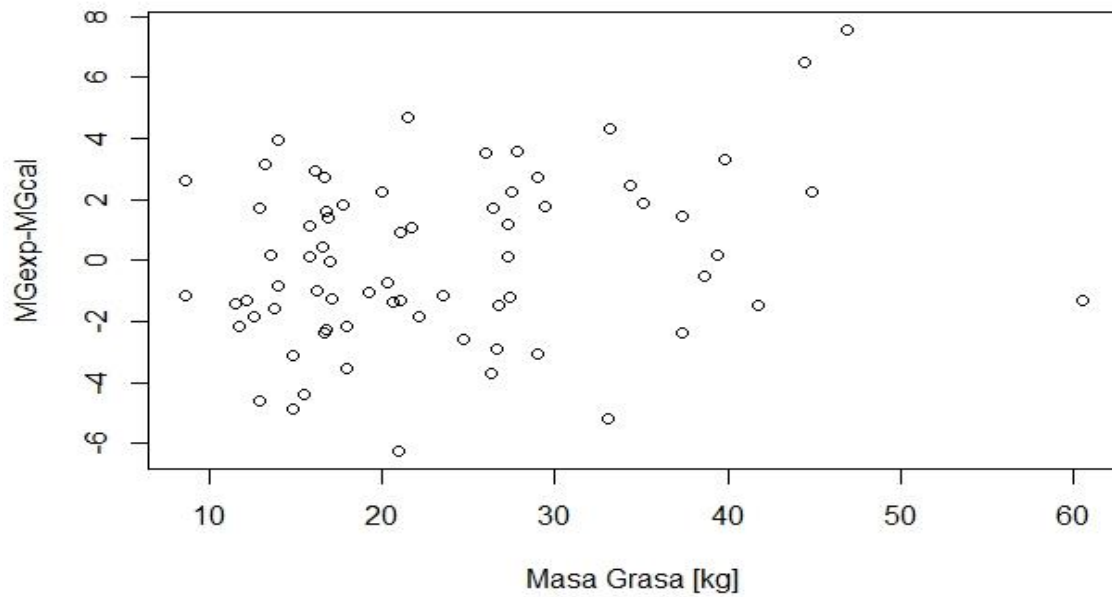


Figura 9. Gráfico de los residuales calculados y predichos del modelo M9p

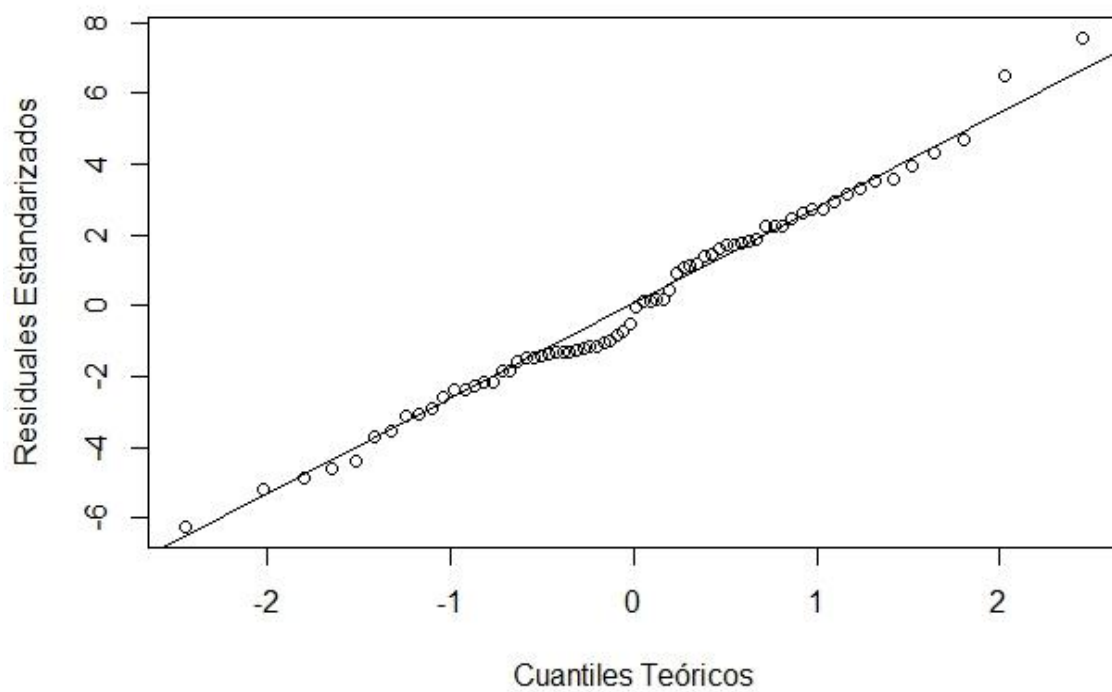


Figura 10. Gráfica Q-Q de los cuantiles de los residuos del modelo **M9p**.

Se calculan nuevamente VIF para los parámetros del modelo **M9p** para confirmar que no se presenten colinealidad entre valores de VIF > 10, con el fin de obtener un modelo parsimonioso. Los valores de VIF se presentan en la Tabla 7, se observa que los parámetros elegidos para el modelo **M9p** presentan valores VIF < 10 lo que nos dice que la colinealidad entre ellos es débil (Denis, 2020).

Tabla 7. Valores calculados VIF de los predictores del modelo M9p

Peso	Tricep	Subescapular	Supraespinal	Abdominal	Muslo
4.78	3.66	7.81	4.41	8.92	3.77
Pierna	Biliocrestal				
3.02	2.37				

El modelo **M9p** se muestran en la Ecuación 15.

$$MG_{M9p} = -29.20 + 0.36 P + 0.18 PT - 0.12 PSU + 0.01 PSA + 0.19 PA + 0.12 PM + 0.15 PP + 0.51 BIL$$

$$R^2 = 0.93, R^2_{Adj} = 0.92, EER = 2.9 \text{ kg} \quad \text{(Ecuación 15)}$$

Otro criterio importante sobre los coeficientes ajustados del **M9p** es que estos no presenten correlaciones importantes entre sí, recordando que la *r* Pearson calcula la correlación entre un par de variables, este mismo concepto se puede aplicar a los coeficientes utilizando para este fin las elipses de correlación (Faraway, 2004) como se muestra en la Figura 11, el ancho de la elipse indica la correlación que existe entre un par de coeficientes, entre más ancha sea el área de elipse nula

correlación, una elipse muy estrecha (forma de línea) indicara una correlación fuerte, la problemática de tener coeficientes muy correlacionados dentro de un modelo es que ambos podrían estar aportando la misma información para cuantificar la variable de respuesta lo cual tendría a generar problemas en el valor de la variable a predecir.

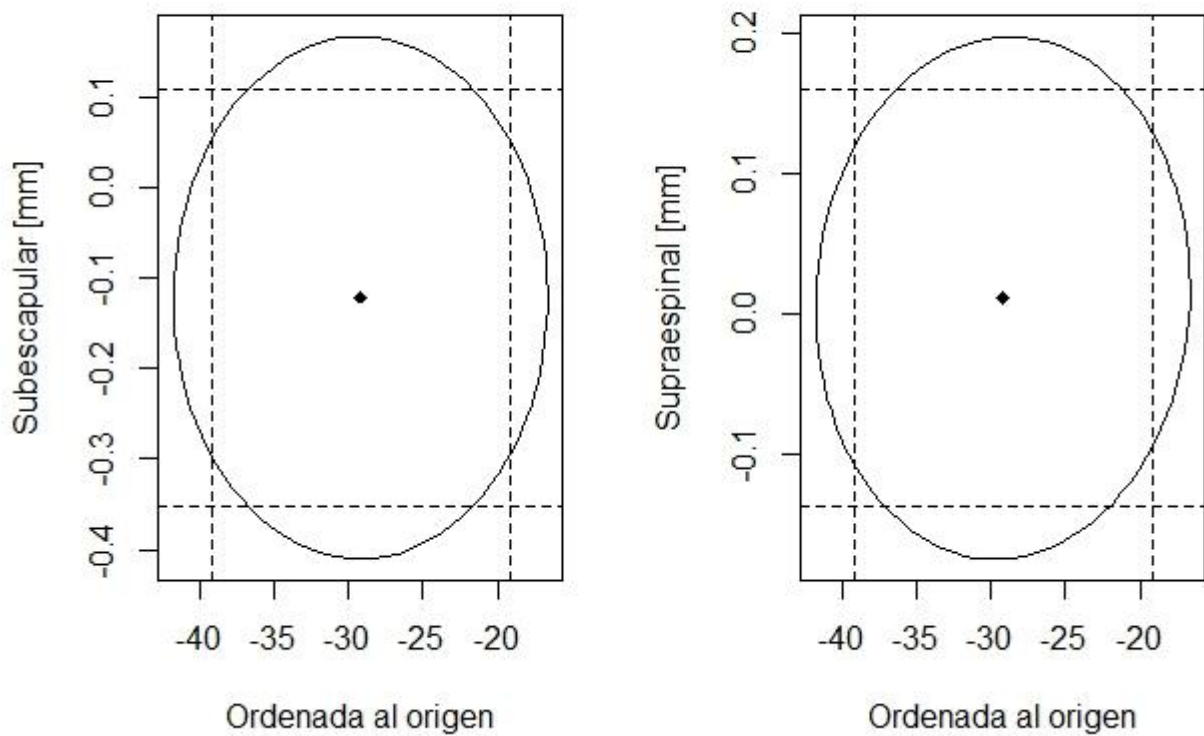


Figura 11. Gráfico de elipses de correlación de los parámetros elegidos para el modelo M9p.

Como se observa en la Figura 11 la elipse de correlación para el intercepto y el coeficiente que acompaña a la variable subescapular muestra una correlación débil, la misma tendencia se obtuvo para el intercepto y el coeficiente supraespal. Otra

forma de verificar la correlación entre los coeficientes del modelo es por medio del valor VIF, sin embargo, el valor VIF es calculado utilizando todos los coeficientes, es decir un valor alto de VIF para un coeficiente en particular indica una gran correlación para los otros coeficientes restantes, pero no nos muestra con cual o cuales coeficientes presenta correlación. Las demás figuras de elipses de correlación podrán ser observadas en el apartado de (ANEXO 7).

Para evaluar la capacidad predictiva del modelo **M9p** se calcula el criterio RMSE este valor es calculado utilizando la muestra de validación 25 mujeres, se recuerda que estas observaciones no se usaron durante el ajuste, el RMSE mide la desviación que hay entre dos conjuntos de datos, comparando el valor calculado (predicho) por el modelo y el valor medido experimentalmente (Faraway, 2004), cuanto mayor sea la diferencia en este caso la suma de todos los residuos el modelo presentara deficiencias en la correlación de la MG, el valor del RMSE se compara para las dos muestras ajuste y validación utilizando el modelo **M9p**.

El valor de RMSE con la muestra de ajuste para el modelo **M9p** fue de 2.15, este valor es el que se espera recuperar, obtener un valor cercano del RMSE utilizando la muestra de validación indicaría que el modelo adecuadamente predice la MG con datos que no hayan sido contemplados para ajustar el modelo. La muestra de validación obtuvo un valor de $RMSE_{v} = 2,52$ el cual es 17.2% mayor que el valor obtenido con la muestra de ajuste, esta diferencia no es significativa, con lo que se puede concluir que el modelo con nueve parámetros es robusto, estadísticamente optimizado y tiene la capacidad de predicción adecuada para la MG de mujeres con similitudes a nuestra muestra estudiada.

Se debe mencionar que el modelo ajustado **M9p** predice adecuadamente la MG de mujeres con normopeso y sobrepeso como se observa en la Tabla 8, lo cual es realizada en la muestra de ajuste 70 mujeres y la muestra de validación 25 mujeres.

Tabla 8. Masa grasa calculada por PDA y predicha por el modelo M9p en los grupos de ajuste y validación

METODO	muestra 70 Mujeres MEAN±SD	muestra validación 25 Mujeres MEAN±SD
PDA (kg)	23.4±10.4	21.3±9.3
M9p (kg)	23.4±10.2	20.9±9.9

PDAkg, pletismografía por desplazamiento de aire masa grasa en kg calculada; M9p, modelo con 9 parámetros masa grasa en kg predicha; MEAN, media; SD, desviación estandar.

En esta investigación se ajustó un modelo lineal multivariable utilizando el método de mínimos cuadrados (Versani, 2004 y Denis, 2020) a partir de las variables antropométricas medidas de acuerdo a la metodología ISAK, las cuales pudieran correlacionar y presentar significancia estadística con la variable de respuesta MG determinada a través del método indirecto PDA de una muestra de mujeres con sobrepeso y obesidad de una zona conurbada de estados del norte de México, por las circunstancias que se presentaron en la investigación anteriormente mencionadas, el conseguir la muestra deseada durante este tiempo fue difícil dadas las condiciones. Por lo que se decidió que las muestra también contemplara a mujeres con IMC > 18 kg/m² para aumentar el tamaño de la muestra.

Una parte importante en el éxito del ajuste y su validación es el proceso de creación y selección de las personas que conformaron las muestras de ajuste y

validación y que son seleccionadas de la muestra general que fue conformada a conveniencia para esta investigación, fue asegurar que la selección para realizar los modelos a partir de la conformación de los grupos a partir del script en R se diera de forma aleatoria, ya que se garantiza que el modelo no presente sesgos debidos al proceso de selección, R contiene una rutina de selección aleatoria *sample* la cual permitió llevar con éxito esta etapa, la muestra de ajuste quedó conformada por 70 mujeres entre edades 18 a 66 años con un IMC entre 18.2 -45 (kg/m^2) y la muestra de validación se conformó de 25 mujeres entre edades de 18 a 66 años con IMC 18.9-37.2 (kg/m^2).

Los antecedentes citados y mencionados donde se han desarrollado modelos con variables antropométricas simples para predecir el valor de un tejido a nivel tisular MG, %MG, MLG, etc., en su mayoría han logrado correlacionar adecuadamente las respuestas obtenidas con un método indirecto como DEXA, PDA y TC (Lee et al, 2017), sin embargo han sujetado su análisis estadístico en un par de criterios como son el R^2 y el EEE, que como se ha mostrado sólo explican la capacidad del modelo de reproducir los valores utilizados durante el ajuste, no se menciona con lo referente a la significancia estadística de los parámetros elegidos.

En esta investigación se indagó sobre la idea de utilizar diferentes mediciones antropométricas que son muy comunes en la descripción del tejido graso de una persona, estas mediciones estandarizadas (ISAK) muestran de una mejor forma la distribución de la MG en diferentes zonas del cuerpo, algunas de ellas han sido utilizadas dentro de modelos como variables predictoras (Castro-Porras et al. 2019;

Huerta-Huerta et al 2007; Lee et al, 2017; Ramos-Jiménez et al, 2018), las cuales se muestran que aportan significancia estadística al modelo.

La falta de estandarización en la determinación de las mediciones corporales impide la reproducción de los resultados obtenidos por el autor, en los antecedentes la mayoría mencionan sólo que el personal que realizó las determinaciones, fue entrenado para medir, pero no especifican bajo que metodología y la posición exacta de la zona a medir, lo anterior hace que se cuestione sobre como reproducir los datos (si es que estos se publicaron) y como interpretar los resultados para ser comparados con los de esta investigación.

El apearse a la metodología ISAK y contar con dos técnicos certificados en niveles 2 y 3 ISAK, permitió la adecuada calibración de los equipos antropométricos utilizados para la obtención de los datos de la muestra de estudio.

El trabajo de Lee et al. (2017), contó con una muestra considerable en su estudio, el cual incluyó diferentes etnias entre ellas mexicoamericanas obtenidas de las encuestas realizadas por la NANHES, desarrolló modelos para predecir la MG, %MG y la MLG utilizando como método de referencia DEXA, utilizó como variables antropométricas como la masa corporal, talla, perímetro de cintura, perímetro de brazo relajado, perímetro de muslo, perímetro de pantorrilla y los pliegues cutáneos tríceps y subescapular. Concluyen que, con simples variables antropométricas como masa corporal, talla, edad, y el perímetro de cintura la predicción de la variable de respuesta es adecuada reporto valores de $R^2= 0.93$ y un $EEE= 2.4$ (kg), comparando con el modelo **M9p** el cual obtuvo valores de $R^2=$

0.93, $R^2_{Adj}= 0.92$ y $EER= 2.9$ (kg) se aprecia que son acordes con los datos reportados por Lee et al. (2017).

Lee et al. (2017), no reportan si estadísticamente las variables que elige predicen su variable de respuesta a medir, solo enfatiza que son significativas a sus modelos propuestos en su estudio. En este trabajo se reporta el valor de $R^2_{Adj}= 0.92$ lo que permite penalizar los modelos con una complejidad mayor a la necesaria para describir la variable de respuesta, este valor es un buen criterio final de los predictores y su número (Denis, 2020).

El R^2 tiene la desventaja de siempre aumentar con el número de predictores utilizados en el modelo (Denis, 2020), lo que ocasiona que si no se toma esto en cuenta tiende a generar modelos que sobre ajustan con una capacidad débil de predicción, por lo que aquí se buscó un adecuado valor de R^2_{Adj} y el número de parámetros.

Castro-Porras et al. (2019), desarrollaron un modelo para predecir la MLG en una muestra de estudio de 275 adultos jóvenes con obesidad a partir de variables antropométricas como la masa corporal, talla, perímetro de cintura, pliegue del tríceps, subescapular y el diámetro abdominal sagital, su modelo ajustado predice adecuadamente la MLG de su muestra, obteniendo una $R^2= 0.93$ y un $EEE= 2.6$ kg, calcula el factor de inflación de la varianza $VIF= 2,28$, C_p de Mallows'= 4 parámetros, en su conclusión final menciona que su modelo es parsimonioso y con criterios estadísticos que le permiten predecir adecuadamente la MLG.

Esta investigación utilizó los criterios estadísticos específicos (Castro-Porras et al. 2019; Denis, 2020; Faraway, 2004) como directrices en la determinación de las características finales del modelo como son: número de parámetros, colinealidad y significancia estadística, los valores obtenidos son $R^2_{Adj} = 0.92$, un EER= 2.9 kg, $C_p = 7.8$ con $p = 9$ parámetros, el valor de C_p es menor o igual al número de parámetros al modelo ajustado, los valores para todos los parámetros utilizados en el modelo **M9p** tuvieron valores $VIF < 10$ el modelo no presenta colinealidad y es parsimonioso, el valor de RMSE= 2.5 obtenido sobre muestra de validación mostró que el poder de predicción obtenido es adecuado, por lo es concordante con la investigación de Castro-Porras et al. (2019), en que tales criterios estadísticos son suficientes para seleccionar un modelo lineal múltiple.

La interrogante que surge de las investigaciones de Lee et al. (2017); Castro-Porras et al. (2019), son ¿Por qué aunque midieron diferentes variables antropométricas deciden quedarse con modelos con variables antropométricas simples?, ¿Si se utilizan estas variables antropométricas se llegaría a los mismos resultados?, tal vez las respuestas a estas preguntas se puedan entender por la formación del investigador o el de las personas las cuales se pretenden que se utilicen el modelo desarrollado.

El planteamiento de mantener ciertos números de variables antropométricas dentro del modelo no fue de sólo buscar lograr disminuir el error obtenido en el cálculo de la MG, como lo muestran los resultados se obtuvo una varianza total de ± 2 (kg), la cual es del mismo orden que las reportadas por Lee et al (2017) y Castro-Porras et al. (2019). Sin embargo, la diferencia de este modelo respecto de los anteriormente

mencionado recae en los predictores utilizados en el modelo, ya que estos ubican la posición de la MG en el sujeto evaluado además que el valor numérico de éstos caracteriza la distribución parcial de la MG (Esparza-Ros et al., 2019), conocer la distribución ayudaría a mejorar las recomendaciones, desarrollar dietas efectivas y programas de ejercicio enfocados a la disminución de la condición de obesidad del sujeto.

Las variables antropométricas elegidas presentan en cierta medida una complejidad para su evaluación, es necesario conocer y dominar las técnicas y metodología ISAK, los predictores antropométricos elegidos en esta investigación cubren esos requisitos (Esparza-Ros et al., 2019). Las 14 variables que se seleccionaron son: peso, talla, 6 pliegues cutáneos, 4 perímetros y 2 diámetros, con los cuales es posible obtener una descripción adecuada de la distribución de la grasa del sujeto.

Diferentes combinaciones de estas variables se probaron en el ajuste de diversos modelos, los cuales presentan distintos valores de los criterios estadísticos utilizados y significancia de los coeficientes finales (Denis, 2020; Faraway, 2004; Versani, 2004). El modelo **M9p** fue seleccionado por presentar el mejor desempeño en el cálculo de la cantidad de MG (menor varianza) tanto en la muestra de ajuste como en la de validación, los 5 criterios utilizados R^2 , EER, VIF, C_p , RMSE presentaron valores óptimos, la correlación entre los coeficientes del modelo fue adecuada (elipses de correlación), por ultimo los predictores permiten dar una idea clara de la distribución de la grasa en el cuerpo del sujeto evaluado.

La toma de los pliegues cutáneos si es correctamente medida posee información sobre el tejido graso de una persona (Kasper et al., 2021), con lo que respecta al diámetro biliocrestal utilizado en el modelo siempre mostró ser significativo en todos los ajustes en los que se utilizó experimentalmente, observándose un desplazamiento del tejido graso cuando se realiza una ligera presión con el calibre de grandes diámetros en las ubicaciones de las crestas ilíacas, éste desplazamiento incrementa con respecto a la obesidad del sujeto. El diámetro biliocrestal y su significancia en el ajuste de modelos para el cálculo de la MG es un hallazgo interesante que puede servir para que otros investigadores tomen en cuenta esta variable antropométrica que no ha sido contemplada en los trabajos reportados en los antecedentes (Huerta-Huerta et al. 2007; Castro-Porras et al, 2019; Lee et al, 2017; Ramos-Jiménez et al, 2018).

No se debe de omitir que los modelos existentes (Huerta-Huerta et al. 2007; Castro-Porras et al, 2019; Lee et al, 2017; Ramos-Jiménez et al, 2018) y el presentado en este trabajo han sido ajustados utilizando muestras con características particulares y su uso debe ser validado al utilizarse con muestras que presenten similitudes estadísticas respecto de la muestra con la que fueron realizados, generalizar los resultados obtenidos a toda la población podría generar resultados inadecuados.

Durante el análisis estadístico, se encontraron mejoras para la metodología que se utilizó en este estudio y que deben ser tomadas en cuenta por quienes deseen replicar el trabajo (Faraway, 2004; Denis, 2020; Versani, 2004).

La limitante principal del presente trabajo es el tamaño de la muestra conseguida (95 participantes) lo cual fue elegida a conveniencia por circunstancias anteriormente descritas, lo cual debe considerarse que los resultados conseguidos deberán de ser interpretados con cautela por investigadores que deseen replicar este trabajo o los citados anteriormente como se ha mencionado (Huerta-Huerta et al. 2007; Castro-Porras et al, 2019; Lee et al, 2017; Ramos-Jiménez et al, 2018) se deben de llevar a cabo en muestras similares a la investigación, ya que con muestras diferentes a la conseguida en este trabajo o los citados se podría obtener sesgos en la obtención de los resultados.

Se recomienda que el tamaño y conformación de la muestra, se calcule conforme a la media y la desviación estándar de la población o muestra a evaluar con la finalidad de poder observar en todos los predictores una clara tendencia a la distribución normal, lo cual es una suposición necesaria para el tratamiento estadístico (Denis, 2020).

No se consiguió una muestra grande con características de sobrepeso y obesidad (tan solo 44 mujeres presentaron un IMC > 25 kg/m²), aunque se desarrollaron modelos con esta muestra no se alcanzaron resultados estadísticos satisfactorios por lo que se recomienda evaluar a más mujeres en esta condición para futuros trabajos.

Por último, el modelo ajustado se basa en el modelo de dos componentes, se debe tener mesura en la interpretación de los datos obtenidos con el modelo debido a que las densidades obtenidas durante la fase experimental no son constantes y varían con variabilidad biológica del sujeto, etnicidad, dieta, etc. (Werdein & Kely,

1960; Durnin & Womersly, 1974; Martin, 1984; Kerr, 1988), al utilizar el PDA se deben cuantificar el porcentaje de error sobre la medición de la MG ya que, aunque ha sido comparado con métodos de referencia como DEXA, el porcentaje de error que es permitido se debe de fijar a partir de la muestra que uno desee evaluar (Fosbøl & Zerahn, 2015).

Una consideración en la toma de las mediciones antropométricas en esta investigación es que pueden ser difíciles de evaluar si no se cuenta con la práctica necesaria y la estandarización en cineantropometría, aunque estas variables fueron tomadas por un instructor ISAK nivel 3, la medición de los pliegues cutáneos para mujeres con un IMC > 33 kg/m² es complicada, se observó que es posible presentar sesgos en la obtención de algunos pliegues en particular el abdominal, supraespinal y muslo, por lo que se recomienda considerar otras variables para mujeres con un IMC > 33 kg/m².

Una fortaleza en este trabajo de investigación es utilizar la metodología antropométrica ISAK (Esparza-Ros et al, 2019), llevarla a cabo es de importancia en la obtención de datos, ya que se evitan sesgos importantes en las mediciones y estas son reproducibles, se recomienda su implementación para nuevas investigaciones que quieran replicar o mejorar el trabajo, es de suma importancia mencionar como se obtuvieron los datos.

Otra fortaleza fue realizar una adecuada metodología estadística (Denis, 2020; Faraway, 2004; Versani, 2004) que pueda sostener los resultados presentados, lo

cual fue empleado en este trabajo, generando un modelo estadísticamente potente (predictivo), resultados confiables y teniendo similitudes con otros trabajos.

3.2. Conclusiones

La valoración de la MG en mujeres con normopeso y sobrepeso se ha convertido en un importante componente de salud fisiológica y de importancia en la composición corporal, su estimación a través del modelo ajustado a partir de variables antropométricas medidas de la presente investigación utilizando la metodología ISAK permiten correlacionar adecuadamente este tejido y presentan significancia estadística, la masa predicha por el modelo presentado, permitirá al nutriólogo o cualquier persona perteneciente al área de la salud evaluar adecuadamente este tejido de forma individualizada.

Se concluye que el diámetro biliocrestal tiene una correlación y significancia estadística con la MG, ya que en la mayoría de los modelos que se ajustaron esta variable, siempre permanece estadísticamente significativa. Se propone que nuevas investigaciones tomen en cuenta esta medida, que podría ofrecer información a nuevos trabajos que desean predecir este tejido en particular.

El lenguaje R mostró ser una herramienta potente y útil para el ajuste del modelo, el código (script) que genera los cálculos se anexa para ser revisado y utilizado por futuras investigaciones que deseen realizar un trabajo similar, para ser mejorado por investigadores que tengan el conocimiento en el lenguaje y deseen utilizarlo.

Por lo conseguido en esta investigación surge la interrogante si el modelo propuesto puede ser llevado al aprendizaje del Machine Learning o Deep Learning,

para lograr mejorar los resultados obtenidos en esta investigación, lo cual en una futura investigación podría ser llevada a cabo.

Referencias.

Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 110, 113–140.

Castro-Porras, L., Rojas-Russell, M., Villanueva-Sánchez, J., & López-Cervantes, M. (2019). An anthropometry-based equation of fat mass percentage as a valid discriminator of obesity. *Public Health Nutrition*, 22(7), 1250-1258.

Cox-Reijven, P. L., & Soeters, P. B. (2000). Validation of bio-impedance spectroscopy: effects of degree of obesity and ways of calculating volumes from measured resistance values. *International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(3), 271–280.

Dávila-Torres J, González-Izquierdo JJ, Barrera-Cruz A (2015). Panorama de la obesidad en México. *Revista Médica Instituto Mexicano del Seguro Social*. 53(2):240-249.

Dempster, P., & Aitkens, S. (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(12), 1692–1697.

Denis, D. (2020). *Univariate, Bivariate, and Multivariate Statistics Using R: Quantitative Tools for Data Analysis and Data Science*. John Wiley & Sons, Inc.

Deurenberg, P., & Deurenberg-Yap, M. (2003). Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Forum of nutrition*, 56, 299–301.

Durnin, J. V., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *The British journal of nutrition*, 32(1), 77–97.

Edelman, R., Hesselning, J., Zlatking, M., Crues, J. (2007). Clinical Magnetic Resonance Imaging e-edition. *AJNR: American Journal of Neuroradiology*, 28(3), 597–600.

Esparza-Ros, F, Vaquero-Cristóbal, R, Marfell-Jones, M. (2019). Protocolo Internacional para la valoración antropométrica. Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometria.

Faraway, J. (2004). *Linear Models with R*. Chapman & Hall/CRC: The R Series.

Fosbøl, M. Ø., & Zerahn, B. (2015). Contemporary methods of body composition measurement. *Clinical physiology and functional imaging*, 35(2), 81–97.

García-García, J., Reding-Bernal, A., López-Alveranga, J. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. Departamento de Bioestadística y Bioinformática, Dirección de investigación, Hospital General de México, vol.2, n.8. pp. 217-224.

Huerta-Huerta, R., Esparza-Romero, J., Urquidez, R., I.-Pacheco, B., E. Valencia, M., & Alemán-Mateo, H (2007). Validez de una ecuación basada en antropometría para estimar la grasa corporal en adultos mayores. *ALAN [online]*, vol.57, n.4, pp. 357-365.

Heyward, V. (2006). Una comparación entre los métodos de valoración de la composición corporal de laboratorio y de campo. *Revista: PubliCE*

Kasper, A. M., Langan-Evans, C., Hudson, J. F., Brownlee, T. E., Harper, L. D., Naughton, R. J., Morton, J. P., & Close, G. L. (2021). Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*, 13(4), 1075. <https://doi.org/10.3390/nu13041075>

Kerr, D. (1988). An Anthropometric method for the fractionation of skin, adipose, muscle, bone and residual tissue masses in males and females age 6 to 77 years, M.Sc. thesis, Simon Fraser University.

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M., Pichard, C., & Composition of the ESPEN Working Group (2004). Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(5), 1226–1243.

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Manuel Gómez, J., Lilienthal Heitmann, B., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., M W J Schols, A., & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(6), 1430–1453.

Lee, D. H., Keum, N., Hu, F. B., Orav, E. J., Rimm, E. B., Sun, Q., Willett, W. C., & Giovannucci, E. L. (2017). Development and validation of anthropometric prediction equations for lean body mass, fat mass and percent fat in adults using the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2006. *The British journal of nutrition*, 118(10), 858–866.

Lee, D. H., Keum, N., Hu, F. B., Orav, E. J., Rimm, E. B., Willett, W. C., & Giovannucci, E. L. (2018). Predicted lean body mass, fat mass, and all cause and

cause specific mortality in men: prospective US cohort study. *BMJ (Clinical research ed.)*, 362, k2575.

Liao, Y. S., Li, H. C., Lu, H. K., Lai, C. L., Wang, Y. S., & Hsieh, K. C. (2020). Comparison of Bioelectrical Impedance Analysis and Dual Energy X-ray Absorptiometry for Total and Segmental Bone Mineral Content with a Three-Compartment Model. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), 2595.

Martin, A. (1984). An anatomical basis for assessing human body composition: evidence from 25 dissections, M.Sc thesis, Simon Fraser University.

Macias, N., Alemán-Mateo, H., Esparza-Romero, J., & Valencia, M. E. (2007). Body fat measurement by bioelectrical impedance and air displacement plethysmography: a cross-validation study to design bioelectrical impedance equations in Mexican adults. *Nutrition journal*, 6, 18.

Matiegka, J. (1921), The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology.*, 4: 223-230.

McCrary, M. A., Gomez, T. D., Bernauer, E. M., & Molé, P. A. (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(12), 1686–1691.

O'Connor, D. P., Bray, M. S., McFarlin, B. K., Sailors, M. H., Ellis, K. J., & Jackson, A. S. (2010). Generalized equations for estimating DXA percent fat of diverse young women and men: the TIGER study. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(10), 1959–1965.

Pietrobelli, A., Wang, Z., Formica, C., & Heymsfield, S. B. (1998). Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *The American Journal of Physiology*, 274(5), E808–E816.

Ramos-Jiménez, A., Hernández-Torres, R. P. & Murguía-Romero, M. (2018). Anthropometric equations for calculating body fat in young adults. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 68. 111-121

Romero-Martínez, M., Shamah-Levy, T., Vielma-Orozco, E., Heredia-Hernández, O., Mojica-Cuevas, J., Cuevas-Nasu, L., & Rivera-Dommarco, J. (2019). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut 2018): metodología y perspectivas. *Salud Pública De México*, 61(6, nov-dic), 917-923.

Ross, W. & Kerr, D. (1993). Fraccionamiento de la Masa Corporal: Un Nuevo Método para Utilizar en Nutrición, Clínica y Medicina Deportiva. *Revista de Actualización en Ciencias del Deporte* Vol. 1 N°3.

Sandhu, J. S., Gupta, G., & Shenoy, S. (2010). Prediction equation for calculating fat mass in young Indian adults. *Asian Journal of Sports Medicine*, 1(2), 101–107.

Verzani, J. (2004). *Using R for Introductory Statistics*. Chapman & Hall/CRC: The R Series.

Sarmiento, B. (2014). *Evaluación del estado de nutrición en el ciclo vital humano*. (Universidad Autónoma de Baja California).

Stewart, A., Marfell-J, M., Olds, T, Ridder, H., ISAK (2011). *Protocolo Internacional para la valoración antropométrica*. Responsable de la traducción: Francisco Esparza-Ross.

Wang, Z. M., Pierson, R. N., Jr, & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American journal of clinical nutrition*, 56(1), 19–28.

Werdein, E. J., & Kyle, L. H. (1960). Estimation of the constancy of density of the fat-free body. *The Journal of clinical investigation*, 39(4), 626–629.

ANEXO 1. Carta de aceptación Comité de Bioética

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA Comité de Bioética

Tijuana, Baja California a 27 de Agosto del 2021.

DRA. JULIETA YADIRA ISLAS LIMÓN
DIRECTORA FACULTAD DE MEDICINA Y PSICOLOGÍA
PRESENTE.

Por medio del presente y aprovechando para extenderle un cordial saludo se le notifica que, después de revisar la solicitud de revisión del proyecto de investigación con título:

“Diseño de un modelo predictivo basado en antropometría para la evaluación de la composición corporal en mujeres con sobrepeso y obesidad”

I.P.: David Yair Martínez Romero

Inv. Asoc.: Dr. Marco Antonio Hernández Lepe (Director de Tesis)

en comisión específica, el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina y Psicología ha decidido el siguiente dictamen:

APROBADO

Los fundamentos para dicha decisión se basan en que es un proyecto de investigación clasificado “Categoría II. Investigación con riesgo mínimo” de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud por haber cumplido con las características para dicho nivel al ser un estudio transversal, observacional descriptivo en mujeres mayores de 18 años y que implicará aplicación de cuestionario, evaluación de composición corporal y antropometría. A la vez, el consentimiento informado escrito cubre los requerimientos suficientes para esta categoría señalados en la LGS en su Art. 21, garantizando la confidencialidad total de la información recabada. Se anexa al presente dictamen, el consentimiento informado referido debidamente autorizado con fecha de vigencia.

La presente aprobación es para su aplicación en un período no mayor a **DOS AÑOS** a partir de la fecha del dictamen; cualquier cambio al protocolo de trabajo requiere de notificación a este Comité en un período no mayor a 15 días para mantener la vigencia del mismo.

Sin más por el momento, quedo de Usted como su S.S.

Atentamente
“Por la Realización Plena del Hombre”

Dr. Miguel Angel Fraga Vallejo
Comité de Bioética FMyP



ANEXO 2. Datos antropometricos de las 95 mujeres de estudio

Tabla 9. Datos antropometricos de las 95 participantes

Sujetos	PDAkg	peso	Talla	IMC	E	Tri	Sub	Sup	Abd	Mus	Pier.	Ccu	CB	Cin	Cad	APA	BIL
1	60.5	120.5	1.68	45	27	45	48	40	65	60	40	40.5	43	127	133	36.1	35
2	34.4	80	1.62	30.5	21	35	37	25	40	26	20	36	31.9	91	112	26.5	30.6
3	11.7	56.8	1.54	23.9	21	20	15	12	19	22	17	32.4	28.7	73	98	19.8	22
4	17	55.5	1.49	25	31	30	25	20	35	30	17	32.5	28.9	76	94.5	21.1	24.4
5	23.5	71.8	1.62	27.4	25	25	27	20	37	27	20	33.4	29.7	78	102	22.1	24.5
6	14.9	61.7	1.62	23.5	24	27	25	18	27	32	17	34.5	30.4	74.5	97	19.5	24.2
7	16.3	61.9	1.61	23.8	24	20	17	14	25	20	13	30	29.5	73	96	21.2	25
8	12.6	45.1	1.52	19.5	24	13	10	9	14	20	14	27.1	24.6	62	89	18	22
9	21	78.5	1.8	24.2	30	21	23	25	32	19	20	35.2	33	84.9	102	24	29
10	13.1	52	1.51	22.5	22	20	15	13	12	27	25	30.5	25.5	26	94.2	18.3	24.2
11	33.1	84.7	1.69	29.7	36	40	38	35	45	40	35	35.5	35	94.5	112	28.6	28
12	18	64.9	1.69	22.7	38	20	15	15	22	21	17	32.5	28	74	99	20.3	27.6
13	12.8	59	1.6	23	22	15	13	15	15	18	12	32.7	27.5	72.3	96.5	19.6	23
14	26.7	74.4	1.61	28.7	25	22	32	31	45	30	25	34	30.7	86	110	25	29.1
15	26.3	69.6	1.62	26.5	31	25	27	23	37	40	35	34.7	31	81	108.9	25	28.7
16	39.8	82.5	1.56	33.9	22	40	42	45	50	40	25	35	33	92.5	119.8	27	28
17	29	66.3	1.58	26.6	36	28	22	27	35	30	25	32.5	30.5	84	103	22.3	27.6
18	11.5	55	1.55	22.9	27	18	16	16	16	14	15	31.2	28.6	69.1	92	19.6	26
19	27.8	65.9	1.53	28.1	23	23	22	27	30	30	27	30.5	29.5	76	113.4	22.7	27

PDAkg, pletismografía por desplazamiento de aire masa grasa en kg; IMC, índice de masa corporal; E, edad; Tri, tricípital (mm); Sub, subescapular (mm); Sup, supraespinal (mm); Abd, abdominal (mm); Mus, muslo (mm); Pier., pierna (mm); Ccu, circunferencia de cuello (cm); circunferencia de brazo relajado (cm); Cin, cintura (cm); Cad, cadera (cm); APA, anteroposterior del abdomen (cm); BIL, biliocrestal (cm).

(Continuación Tabla 9)

20	14.9	58.6	1.54	24.7	29	21	20	16	23	27	20	32.5	29	72.5	96.7	20.2	26
21	37.4	87.8	1.61	33.8	24	22	37	40	50	37	27	39	34	96.5	114.5	28.5	28.7
22	22.1	62.7	1.73	20.9	30	27	25	23	37	22	20	32	27	77	101	23.1	29.5
23	27.3	71.1	1.66	25.8	33	25	24	20	35	27	25	32	30	82.2	103	24	26.3
24	27.4	76.6	1.57	31.1	26	23	35	30	43	25	23	37	34	92	105	24	28.5
25	27.3	65.7	1.6	25.6	62	25	23	26	35	25	22	34.5	30	83	103.5	25.3	33.3
26	33.2	72.9	1.55	30.3	66	23	26	25	35	25	25	38	34	94	107	27	32
27	21.1	62.8	1.62	23.9	21	23	15	17	25	25	20	30.5	27.5	72.5	103	21	25
28	8.9	52.6	1.58	21.1	26	11	7	6	11	13	7	31	28	67	90	16	24
29	37.4	87.7	1.56	36	39	25	35	55	55	37	32	39.5	35	110.5	110	33.5	31
30	14	63.7	1.78	20.1	21	15	8	6	12	8	15	31	27.5	65	98	18.3	26
31	17.8	59.6	1.61	23	25	17	21	22	25	23	17	33.9	24	76	101.8	22.2	24
32	13.8	59.6	1.69	20.9	22	15	17	11	20	20	15	31	25.5	68.3	92	19.5	26
33	12.9	59.4	1.59	23.5	25	22	17	15	23	18	17	32.2	28.5	73.5	96.5	21.2	26.5
34	17.1	61.6	1.58	24.7	28	18	20	27	30	20	15	34	27.5	84.5	97.5	24.5	26
35	16.7	58.7	1.59	23.3	19	15	22	20	25	20	12	34	27	74.1	94.2	21	25
36	28.2	73.4	1.64	27.3	32	27	18	32	38	35	25	35	30.4	87	106	31	26

37	10	53.3	1.6	20.8	20	13	10	12	8	12	10	30	26	67	93	20.1	18.5
38	42.9	93.5	1.48	42.6	36	35	35	40	55	30	30	39.3	40.1	110	130	30	32.5
39	17.9	62.7	1.54	26.4	18	22	17	17	27	27	17	32	28.7	75	97.5	20.2	27.1

(Continuación Tabla 9)

40	44.4	89.9	1.58	36.1	18	25	30	27	45	45	30	35.5	33.3	91	119	29.1	27.5
41	16.7	62.3	1.73	20.8	20	20	15	15	22	21	20	30	27.6	69.9	94.4	18	26.5
42	12.9	47.9	1.55	19.9	21	17	12	12	22	15	11	30.5	24	69.5	89.8	19.3	26
43	18	58	1.58	23.2	21	25	22	15	30	40	20	32	29.5	71	97	21	26.5
44	22.4	67.4	1.57	27.3	20	25	27	23	35	38	28	30.5	30	75	104	20.3	27.5
45	30.9	80	1.73	26.7	19	30	40	30	45	30	35	34.5	35	83.5	105	25	30.2
46	16.7	55.9	1.6	21.8	18	17	15	10	20	13	13	30.3	26.9	71.2	90.9	20	27.1
47	35.7	77.6	1.54	32.7	20	30	30	35	45	20	27	36	36	95.5	106	26	30
48	41.8	89.7	1.6	35	24	40	35	40	50	35	40	35.5	35	89	121.5	27.5	31.2
49	26.4	68.6	1.51	30	18	27	27	30	27	27	27	33.5	30.5	76.6	103.2	21.9	27.5
50	39.4	91.9	1.72	31.15	19	22	25	30	45	25	35	36.5	34.5	97	108.5	28.3	32
51	16.9	62.7	1.63	23.6	19	17	12	10	15	17	16	31.5	29.5	68	95	19	24.5
52	35.5	78.1	1.52	33.8	18	32	30	30	40	43	25	39.5	36	91	106.8	25.5	28.5
53	27.5	68	1.56	27.9	19	26	22	15	30	30	32	30.4	32.5	75	104	20	25.1
54	10.9	55.3	1.71	18.9	18	20	15	12	17	15	16	31	24	67.7	90	19	25.2
55	16.2	52.1	1.55	21.6	21	25	20	22	21	25	15	32.5	28	72.7	88.5	20	22.5
56	24.7	72.3	1.6	28.2	19	22	21	15	30	35	26	33.5	30.8	79.7	104	24.2	27.6
57	12.2	47.5	1.61	18.3	22	17	12	10	15	13	20	28.5	22.5	64	89	18	27.5
58	19.8	56	1.55	23.3	19	20	17	17	25	25	30	30.5	28.1	72	94	20.5	26
59	26.3	71.3	1.65	26.2	19	20	16	18	35	25	19	32.5	30	78.1	109	22	29
60	20.6	59.4	1.59	23.5	19	22	26	22	35	25	22	31	27	70	97	19.5	29.5
61	8.6	50.4	1.55	21	27	17	15	10	11	11	15	32.2	24.3	70	87.5	18.1	26

62	16.8	65	1.73	21.7	18	20	15	15	17	16	22	31.5	26	73.5	99	21	27
63	28.4	66.1	1.59	26.2	27	25	20	23	25	35	26	33	29	77	102.1	22.5	28.5
64	11.5	48.8	1.64	18.2	21	16	12	10	11	11	17	29.9	23.1	61.5	88.3	17.3	25.2

(Continuación Tabla 9)

65	25.1	63.8	1.57	25.9	19	29	22	23	28	30	20	33	31	80	97	22	27
66	21.5	57.4	1.6	22.4	19	20	17	15	17	27	23	30	25	62.5	92	17.5	25.5
67	16.6	58.4	1.57	23.7	19	18	10	11	11	26	20	31	26.5	66.5	95.3	17.6	26
68	12.2	47.9	1.51	21	18	20	12	13	20	25	20	30	25.5	68	90.9	18	25
69	25.4	68.3	1.56	28.1	18	24	26	15	30	25	20	35	32	80	101	21	28
70	16.8	64.3	1.62	24.5	18	15	10	12	13	15	10	30.5	28.5	69	96.5	16.5	26
71	21.1	70.1	1.68	25	21	22	18	17	25	30	18	33	28.5	72.2	100	20	24.6
72	29	75.8	1.67	27.2	19	30	37	33	40	40	40	35.3	33.5	81.5	108	22.2	26
73	17	52.2	1.52	22.5	22	20	13	17	27	18	30	30.5	25.5	68.5	91.5	20.2	25
74	26	67	1.66	24.3	23	22	32	22	30	27	20	35.3	30.1	83	98.5	23.5	28.5
75	14	46.6	1.55	19.4	20	21	15	13	15	12	17	32	22.5	70	88	18.5	25.5
76	22.3	60.8	1.52	26.3	20	27	20	20	25	22	30	31.7	28.5	72	102	20.6	26
77	13.2	45.6	1.47	21.1	19	20	15	10	18	12	17	28	23.5	67	88.7	18.5	25.5
78	26.8	70.6	1.62	26.9	18	30	30	22	35	30	30	34	30.5	83	105.5	23.5	28.2
79	29.4	76.4	1.67	27.4	18	22	17	12	27	17	27	32	32	80	105	22.5	30
80	12.6	52.7	1.65	19.3	19	20	12	12	13	15	20	32	23	69	87	17.5	28.5
81	15	53.3	1.55	22.2	40	20	17	17	25	22	12	31	26	71	90	19	25.5
82	13.6	56	1.63	21.1	23	15	13	15	15	20	12	31	26.5	68.3	92	18.5	26.5
83	35.1	79.2	1.56	32.5	18	25	30	26	45	30	34	34.2	34.5	94	112	26	28.5
84	8.6	41.5	1.51	18.2	18	13	12	8	16	18	7	29.3	20.5	62	83.5	17.6	24.6
85	38.7	87	1.58	34.9	19	30	25	35	40	30	40	34	34	89.5	122	26.5	31.5
86	15.5	60.6	1.58	24.3	54	20	20	23	40	13	12	35.5	28	83	99	25	28
87	44.9	89.4	1.6	34.9	20	33	30	45	50	33	40	36	36.5	94	119	28	32

88	19.3	63	1.67	22.6	20	22	14	10	18	22	21	32	26	73	98	19.7	28.5
89	31	80.5	1.69	28.2	51	35	30	22	35	30	25	38.6	32.2	98.1	106.1	26.5	31.5
90	21.7	59	1.6	23	19	27	23	30	27	25	25	31	27	73.3	98	20.5	26.5
91	20	56.9	1.58	22.8	18	22	26	23	27	25	17	32	27	77	99	21	27.5
92	46.9	88.3	1.54	37.2	48	32	30	25	50	36	30	37.5	35.5	107.1	119.1	29	29.1
93	20.3	62.3	1.57	25.3	18	25	25	16	22	26	32	31.5	29	72.5	95	18.2	26
94	15.8	60.9	1.62	23.2	18	19	17	22	17	20	12	31.5	27.2	75.3	95	20.1	26
95	15.8	49.4	1.61	19	18	22	15	12	22	20	18	30	24.5	67.5	89	18.5	27.3

PDAkg, pletismografía por desplazamiento de aire masa grasa en kg; IMC, índice de masa corporal; E, edad; Tri, tricipital (mm); Sub, subescapular (mm); Sup, supraespinal (mm); Abd, abdominal (mm); Mus, muslo (mm); Pier., pierna (mm); Ccu, circunferencia de cuello (cm); circunferencia de brazo relajado (cm); Cin, cintura (cm); Cad, cadera (cm); APA, anteroposterior del abdomen (cm); BIL, biliocrestal (cm).

ANEXO 3. Marcación y técnica de los puntos anatómicos que se realizaran en la investigación de acuerdo con el protocolo ISAK restringido y completo.

Las marcas anatómicas son los puntos identificables del esqueleto que, en general, están situados en la superficie del cuerpo y son los “marcadores” que identifican la localización exacta del punto anatómico a ser medido, o a partir del cual se localiza una zona del tejido blando; por ejemplo, el pliegue cutáneo subescapular o el perímetro del brazo (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019). La marca o el punto de referencia se localizan con el dedo pulgar o índice. Se libera el punto para evitar cualquier distorsión de la superficie cutánea, y luego se relocaliza el punto y se marca con un lápiz demográfico. El punto se identifica inmediatamente por encima de la marca mediante un punto o una línea pequeña (0,5 cm), cuando se utiliza una cinta métrica para realizar las marcas, éstas se marcarán por el borde superior de la cinta, mientras se sostiene en ángulo recto, en relación al eje del miembro (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019). Los puntos de los pliegues cutáneos se marcarán con una cruz, cuyo eje largo indica la dirección del pliegue, mientras el eje corto determina la alineación entre el dedo índice y pulgar del antropometrista. Con el fin de facilitar la comunicación entre el antropometrista de todo el mundo, las marcas se identifican con sus nombres en latín (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019).

- Localización de los puntos anatómicos

Acromiale®

Definición: el punto en el borde superior de la parte más lateral del acromion.

Posición del sujeto: posición antropométrica.

Posición del antropometrista: se sitúa detrás y a la derecha del sujeto

Localización: Palpar la espina de la escápula hasta llegar al acromion. En este punto se encuentra el comienzo del borde lateral, que en general, se desplaza anteriormente, de forma levemente superior y medial. El acromion en esta parte es bastante grueso. Palpar hacia arriba hasta el margen superior del borde del acromion de forma que se localice su punto más lateral.

Radiale®

Definición: El punto en el borde proximal y lateral de la cabeza del radio.

Posición del sujeto: posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto

Localización: Palpe hacia abajo en la fosa lateral del codo derecho. Se puede sentir el espacio entre el epicóndilo del húmero y la cabeza del radio. A continuación desplace el pulgar distalmente sobre la parte más perpendicular al eje longitudinal del antebrazo. Se confirma la localización correcta mediante una leve rotación del antebrazo, propiciando así el giro de la cabeza del radio.

Acromial-radiale medio®

Definición: El punto equidistante entre las marcas Acromiale y Radiale.

Posición del sujeto: posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto

Localización: Mida la distancia lineal entre las marcas Acromiale y Radiale con el brazo relajado y colgando al costado del cuerpo. La mejor manera de medirla es con un segmómetro o calibre de grandes diámetros. Si se utiliza una cinta métrica, asegúrese de sostenerla adecuadamente para poder medir la distancia perpendicular entre las dos marcas, en lugar de seguir la curvatura de la superficie del brazo. Coloque una pequeña marca a nivel del punto medio entre estas dos marcas. Proyecte esta marca hacia la superficie anterior y posterior del brazo

dibujando una pequeña línea horizontal. Esto es necesario para poder localizar los puntos de los pliegues del Tríceps.

Punto del pliegue del Tríceps®

Definición: el punto en la cara posterior del brazo, en la línea media, a nivel de la marca correspondiente al Acromiale Radiale medio.

Posición del sujeto: Posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa detrás del brazo derecho del sujeto

Localización: Este punto se localiza proyectando en la cara posterior del brazo una línea perpendicular al eje longitudinal del brazo a la altura de la marca Acromiale Radiale medio y cruzando esa línea proyectada con la línea media del brazo en su parte posterior.

Subescapulare®

Definición: el punto más bajo del ángulo inferior de la escápula.

Posición del sujeto: Posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa detrás del sujeto, a la altura de la escapula derecha.

Localización: Palpe el ángulo inferior de la escápula con el pulgar izquierdo. Si existe dificultad en localizar el ángulo inferior de la escápula, el sujeto deberá mover su brazo derecho lentamente en dirección hacia la espalda. Palpa entonces y de manera continua el ángulo inferior de la escápula mientras el brazo vuelve al costado del cuerpo. Marque el punto más bajo una vez localizado. Se deberá efectuar una última revisión o control de esta marca con el brazo relajado al costado del cuerpo.

Punto del pliegue del Subescapular®

Definición: El punto estará localizado a 2 cm a lo largo de una línea hacia debajo de forma lateral y oblicua en un ángulo de 45° desde la marca Subescapulare.

Posición del Sujeto: posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa detrás del sujeto, a la altura de la escapula derecha.

Localización: Dibuje una línea desde la marca Subescapulare que vaya hacia abajo y lateralmente con un ángulo de 45°. A 2 cm del punto Subescapular, dibuje una segunda línea, perpendicularmente a la primera, para indicar el alineamiento de los dedos índice y pulgar al tomar el pliegue.

Iliocristale®

Definición: El punto más superior de la cresta ilíaca que coincida con el lugar de cruce de la línea axilar media.

Posición del Sujeto: posición antropométrica pero con el antebrazo derecho cruzado sobre el pecho.

Posición del antropometrista: se sitúa en el lateral derecho del sujeto.

Localización: Sitúese a la derecha del sujeto y ponga la mano izquierda sobre la pelvis para estabilizar el cuerpo, al realizarse la exploración en la pelvis derecha.

Localice la cresta ilíaca con la punta de los dedos de la mano derecha. Cuando sea localizado esa zona, busque la región superior de la cresta mediante la palpación horizontal con la punta de los dedos. Una vez identificada, dibuje una marca o una línea horizontal pequeña al nivel de la cresta, a la altura del punto-medio axilar.

Ilioespinal®

Definición: Es el punto situado al extremo más inferior de la espina ilíaca antero-posterior.

Posición del sujeto: posición antropométrica pero con el antebrazo derecho cruzado sobre el pecho.

Posición del antropometrista: se sitúa detrás y a la derecha del sujeto

Localización: Palpe la cresta ilíaca y sígala por la parte anterior hasta llegar a la espinal ilíaca antero-posterior. La marca se efectúa dibujando un punto en la parte más inferior de ésta. Con el fin de facilitar el proceso de situar la marca, el sujeto puede flexionar y/o realizar una rotación externa de la cadera.

Nota: En el caso de las mujeres, la marca en el tronco se sitúa proporcionalmente más abajo, debido a la forma más plana y ancha de la pelvis femenina.

Punto del pliegue Supraespinal®

Definición: el punto resultante de la intersección de las dos líneas:

- (1) La línea desde la marca Iliospinale hasta el borde axilar anterior y
- (2) La línea horizontal a nivel de la marca Iliocrestale.

Posición del sujeto: Posición antropométrica. El brazo derecho debe cruzarse sobre el pecho para permitir trazar una línea horizontal desde el punto Iliocrestale (línea 2).

Posición del antropometrista: se sitúa de frente del lado derecho del sujeto.

Localización: Sitúe una cinta métrica desde el borde axilar anterior hasta la marca Iliospinale. El sujeto puede ayudar sosteniendo el extremo de la cinta en posición en la axila anterior. Dibuje una línea pequeña a lo largo de la cinta, aproximadamente al nivel del punto Iliospinale.

Después, sitúe la cinta de manera horizontal siguiendo la marca Iliocrestale con el fin de que se cruce con la primera línea. Una vez que se ha localizado el punto de la intersección, dibuje otra cruz en la misma para indicar la orientación correcta del pliegue, por ejemplo, en línea con el pliegue natural de la piel.

Punto del pliegue Abdominal®

Definición: El punto localizado horizontalmente a 5 cm en el lado derecho del omphalion (punto medio del ombligo).

Posición del Sujeto: Posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa frente al sujeto

Localización: El punto se identifica en el lado derecho del sujeto, con una marca horizontal a 5 cm del punto medio del ombligo. El pliegue en este sitio se toma de forma vertical.

[Nota: La distancia de 5 cm se toma en adultos. En los casos donde la altura difiera de manera significativa, por ejemplo en niños, la distancia debería tomarse según la estatura. Por ejemplo, si la estatura es 120 cm, la distancia será $5 \times 120/170 = 3,5$ cm

Punto del pliegue de la Pierna ®

Definición: El punto en la cara más medial de la pierna a nivel del perímetro máximo.

Posición del sujeto: posición antropométrica con los pies separados entre 15 y 45 [cm] (anchura de las caderas) y el peso del cuerpo de forma equilibrada.

Posición del antropometrista: se sitúa de frente a la parte derecha del sujeto.

Localización: El nivel del perímetro máximo se determina por "ensayo y error". Se identifica utilizando los dedos medios para manipular la posición de la cinta en una serie de movimientos hacia arriba y abajo. Una vez localizado ese nivel máximo, se marca la cara medial de la pierna con una pequeña línea horizontal.

Patellare®

Definición: El punto medio en la zona posterior del borde superior de la rótula.

Posición del sujeto: sentado en el borde del cajón con la pierna derecha en extensión completa y relajada, y el talón sobre el suelo.

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto

Localización: El antropometrista palpa la rótula desde sus bordes lateral y medial, hasta llegar al borde superior. El borde superior se palpa a través del tendón del cuádriceps. Para situar este punto, el antropometrista coloca la uña del pulgar en la zona posterior y realiza el seguimiento del punto mientras que el sujeto flexiona la rodilla hasta los 90°.

Punto del pliegue del muslo®

Definición: el punto medio entre el pliegue inguinal y el punto Patellare.

Posición del sujeto: sentado en el borde del cajón, con el torso erguido a 90° y los brazos colgando a ambos lados del cuerpo. Las rodillas deben estar flexionadas a 90°.

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto.

Localización: El antropometrista se sitúa en el lateral del muslo derecho. Si hubiera dificultad en la localización del pliegue inguinal, el sujeto deberá flexionar la cara para formar el pliegue. Coloque un extremo sobre el punto inguinal. Mida la distancia entre ambas marcas y coloque una pequeña marca horizontal a la altura del punto medio. Luego dibuje una línea perpendicular que cruce la línea horizontal. Esta línea perpendicular se localiza en la línea media del muslo. Si se utiliza una cinta métrica, asegúrese de evitar seguir la curvatura de la superficie de la piel.

Medidas Básicas

Masa corporal®

Definición: es la cantidad de materia del cuerpo. Se calcula midiendo el peso, es decir la fuerza que ejerce la materia en un campo gravitacional estándar.

Posición del sujeto: Posición antropométrica.

Posición del antropometrista: se sitúa al lado del sujeto de forma que se pueda hacer la lectura de la medida.

Material: una báscula calibrada, situada sobre suelo rígido y nivelado.

Método: La masa corporal es la medida registrada. Esta puede ser estimada (o calculada) pesando la ropa o una ropa similar a la del sujeto a medir cuyo valor se resta del registro previamente en la balanza. Generalmente, la masa con mínima vestimenta resulta suficientemente precisa. Compruebe que la báscula parte de cero. El sujeto permanece de pie en el centro de la báscula sin apoyo y con su peso distribuido equitativamente en ambos pies.

Nota: La masa corporal puede presentar variaciones diurnas de aproximadamente 1 kg en niños y de 2 kg en adultos. Los valores más estables son los que se obtienen durante la mañana de manera rutinaria, después de doce horas sin comer y después de evacuar.

Talla® o (estatura)

Definición: Es la distancia perpendicular entre los planos transversales del punto del vértex y el inferior de los pies.

Posición del sujeto: Posición antropométrica, pero con los pies juntos, con la espalda con el contacto con el tallímetro y la cabeza en el plano de Frankfort.

Posición del antropometrista: se sitúa frente al sujeto

Material: Estadiómetro o tallímetro calibrado, situado sobre el suelo rígido y nivelado

Método: El método de talla con tracción requiere que el sujeto este de pie, con los talones juntos, y los talones, glúteos y la parte superior de la espalda en contacto con la escala. La cabeza, cuando está en el plano de Frankfort, no se necesita estar tocando la escala. El plano de Frankfort se obtiene cuando el punto Orbitale (borde inferior de la cuenca del ojo) está en el mismo plano horizontal del punto del Tragon (la muesca superior del trago de la oreja). Cuando están alineados, el Vértex, es el punto más alto del cráneo.

Nota: Existen cuatro técnicas para medir la talla: erecto con los pies colocados libremente, de pie contra la pared, talla con tracción, tumbado. El decúbito supino puede emplearse con niños de hasta 2 a 3 años o en adultos incapaces de mantenerse en pie, los cuales no se toman en consideración aquí. Los otros tres métodos arrojan valores un poco diferentes. Al medir la talla debemos recordar que existirán variaciones diurnas. Generalmente, los sujetos son más altos por la mañana y más bajos por la tarde.

- Técnica general para medir pliegues cutáneos

De todas las mediciones antropométricas, los pliegues cutáneos tienen el nivel más bajo de certeza y precisión. Por esta razón, se requiere la medición con un cuidado extremo. El punto del pliegue cutáneo deberá ser localizado cuidadosamente, empleando la marca anatómica correcta. Marque la piel con un marcador de punta fina o lápiz demográfico, en todas las marcas anatómicas de los pliegues cutáneos, a fin de minimizar los errores en las mediciones repetidas (Stewart et al., 2011). El pliegue cutáneo se toma con los dedos en el lugar marcado. La punta próxima del pulgar y del dedo índice deben estar alineados con la línea pequeña de la marca

anatómica, perpendicular a la orientación del pliegue. El dorso de la mano deberá estar de cara al antropometrista. Se debe de tomar y elevar el pliegue para conseguir una doble capa de piel y de tejido subcutáneo, con los dedos índice y pulgar de la mano izquierda. El tamaño del pliegue a tomar deberá ser el mínimo necesario para asegurar que las dos capas de piel están paralelas (Stewart et al., 2011). Las ramas de contacto del plicómetro se aplican a 1 cm del extremo de los dedos pulgar e índice. Si el plicómetro se coloca muy profundo o muy parcial, se pueden registrar valores incorrectos. El plicómetro se sostiene siempre formando un ángulo de 90° con la superficie del lugar anatómico a medir. Si las ramas del plicómetro se deslizan o se alinean incorrectamente, la distancia registrada puede ser poco precisa. La medición se registra dos segundos después de aplicar la presión total del plicómetro. Es importante que el antropometrista se asegure de que el gatillo del plicómetro esté liberado totalmente cuando se registre la medición, con el fin de permitir que se ejerza la presión total del plicómetro. En los casos de los pliegues cutáneos grandes, la aguja puede continuar moviéndose. Sin embargo, la medición se realizará en el tiempo predeterminado. Esta estandarización es necesaria, debido a que el tejido adiposo tiene compresibilidad (Stewart et al., 2011).

- Medición de los pliegues

Tríceps®

Definición: La medición del pliegue tomada paralelo el eje longitudinal del brazo en el punto del pliegue del tríceps.

Posición del sujeto: posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa detrás del brazo derecho del sujeto.

Material: un plicómetro calibrado.

Método: Se recomienda palpar este punto (donde la línea media de la cara posterior del brazo se encuentre con la línea Acromiale-Radiale media proyectada perpendicularmente al eje longitudinal del brazo) antes de efectuar la medición.

Subescapular

Definición: Es la medición del pliegue tomada oblicuamente 45° hacia abajo y hacia afuera del pliegue del subescapular.

Posición del sujeto: posición antropométrica

Posición del antropometrista: se sitúa detrás del sujeto, a la altura de la escápula derecha.

Método: La línea del pliegue se determina por las líneas naturales de la piel.

Supraespinal®

Definición: Es la medición del pliegue tomada oblicua, hacia abajo y medialmente hacia abajo en el punto del pliegue supraespinal.

Posición del sujeto: posición antropométrica.

Posición del antropometrista: se sitúa frente al lado derecho del sujeto.

Método: el pliegue corre medial y anteriormente hacia abajo con un ángulo de 45°, como determinan las líneas naturales de la piel.

Abdominal®

Definición: es la medición del pliegue tomada verticalmente en el punto del pliegue Abdominal.

Posición del sujeto: Posición antropométrica.

Posición del antropometrista: se sitúa frente al lado derecho del sujeto.

Método: Es de particular importancia en este punto que el antropometrista se asegure que el pliegue inicial tomado sea estable y amplio, ya que la musculatura

por debajo del mismo, a menudo está escasamente desarrollada. Esto puede provocar una subestimación del grosor del tejido subcutáneo.

Muslo®

Definición: Es la medición del pliegue tomada en paralelo al eje longitudinal del muslo en el punto del muslo.

Posición del sujeto: el sujeto se sienta en el borde del cajón, con el torso erguido. La rodilla de la pierna derecha deberá estar extendida con la musculatura relajada y el talón apoyado en el suelo.

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto.

Método: Debido a los problemas con este pliegue, se recomiendan dos métodos de medición. Asegúrese que anote en la proforma el método empleado como A o B. en ambos métodos la pierna está en extensión, y el sujeto sostiene los isquiosurales levantando la cara posterior del muslo.

Método A el antropometrista se coloca en el lateral del muslo derecho. El pliegue cutáneo se levanta en el punto marcado, y se toma la medición.

Método B Para los sujetos que tienen un pliegue cutáneo del muslo que presenta una mayor dificultad, el anotador (situado a la izquierda del sujeto) ayuda levantando el pliegue con ambas manos, con una separación de aproximadamente 6 cm a cada lado de la marca. Entonces, el antropometrista levanta el pliegue en el punto marcado, y toma la medición.

Pierna®

Definición: Es la medición del pliegue tomada verticalmente en el punto del pliegue de la Pierna.

Posición del sujeto: Posición antropométrica con el pie derecho sobre el cajón antropométrico. La rodilla derecha está flexionada en un ángulo aproximado de 90°.

Método: el pie derecho del sujeto está sobre el cajón antropométrico, con la pierna relajada. El pliegue corre en paralelo al eje longitudinal de la pierna

- **Técnica general para medir perímetros**

Material: Cinta antropométrica, cajón de medición

Método: La técnica de manos cruzadas es utilizada para medir todos los perímetros y la lectura se toma en la cinta donde el cero está más lateral que medial en lo que respecta al sujeto, a fin de facilitar la vista de la misma. Cuando se miden perímetros, la cinta se sostiene en ángulo recto con el eje de la extremidad o segmento del cuerpo que se está midiendo, y la tensión de la cinta debe ser constante (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019). Aunque existen cintas de tensión constante, es preferible medir con cintas sin tensión, ya que permite al antropometrista controlar la tensión. El objetivo es minimizar los espacios entre la piel y la cinta, además de minimizar la compresión de la piel donde sea posible (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019).

- **Medición de los perímetros**

Cuello.

Definición: es el perímetro del cuello inmediatamente superior al cartílago tiroides (nuez de Adán), y perpendicular al eje longitudinal del cuello.

Posición del sujeto: sentado en una posición relajada, los brazos a los lados y con la cabeza situada en el plano de Frankfort.

Posición del antropometrista: se sitúa en el lateral derecho del sujeto.

Material: una cinta antropométrica calibrada y un cajón antropométrico.

Método: se debe de seguir el método estándar para la medición de perímetros en el lugar especificado. Para realizar la medición sostener la cinta perpendicularmente el eje longitudinal del cuello, en este caso la cinta no estará necesariamente en un plano horizontal. El cabello no debe ser incluido en la medición.

Nota: debido a que el tejido en esta región tiene alta compresibilidad, es importante no apretar mecho la cinta.

Brazo relajado®

Definición: Es el perímetro del brazo a nivel del punto Acromiale-Radiale medio, perpendicular al eje longitudinal del brazo.

Posición del sujeto: Posición antropométrica.

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto.

Material: una cinta antropométrica calibrada

Método: una vez que se ha conseguido la posición de "cinta-cruzada". La cinta debe estar colocada de forma que la marca del punto Acromiale-Radiale medio este centrada entre las dos partes de la cinta.

Cintura®

Definición: Es el perímetro del abdomen en su punto más estrecho, entre el borde costal lateral inferior (10ª costilla) y la parte superior de la cresta ilíaca, perpendicular al eje longitudinal del tronco.

Posición del sujeto: Posición antropométrica, encima del cajón antropométrico, pero con los antebrazos cruzados sobre el tórax.

Posición del antropometrista: se sitúa frente al sujeto

Método: El antropometrista se coloca al frente o levemente en abducción, permitiendo que la cinta corra alrededor del abdomen. El extremo y la caja de la

misma se colocan en la cintura. El antropometrista retoma el control del extremo de la cinta con la mano izquierda, empleando la técnica de manos cruzadas, coloca la cinta en el nivel adecuado. El sujeto debe respirar con normalidad y la medición se toma al final de una expiración normal. Si no existe una cintura mínima evidente, la medida se tomará en el punto medio entre el borde lateral costal inferior (10ª costilla) y la cresta ilíaca.

Caderas ®

Definición: Es el perímetro de las nalgas a nivel de la prominencia posterior máxima, perpendicular al eje longitudinal del tronco.

Posición del sujeto: Posición antropométrica, encima del cajón antropométrico, pero con los antebrazos cruzados sobre el tórax, los músculos glúteos relajados y los pies juntos.

Posición del antropometrista: se sitúa en el lado derecho del sujeto.

Método: El antropometrista se coloca al lado del sujeto y pasa la cinta alrededor de las caderas. El extremo y la caja se colocan en la mano derecha, mientras el antropometrista ajusta el nivel de la cinta en la parte posterior con la mano izquierda, a nivel de la prominencia máxima de los glúteos. El antropometrista retoma el control del extremo de la cinta con la mano izquierda, empleando la técnica de manos-cruzadas, coloca la cinta a un lado, asegurándose que la cinta este colocada horizontalmente en el lugar adecuado, antes de tomar la medición.

- Técnica general para medir los diámetros

Material: Calibre de grandes diámetros, antropometro-paquímetro, cajón antropométrico.

Método: Ambos calibres se manipulan de la misma manera. El calibre descansa en la superficie dorsal de las manos mientras los pulgares lo hacen en la parte interior de las ramas del calibre, y los dedos índices extendidos en el exterior. En esta posición, los dedos medios están libres para palpar las marcas óseas donde se colocarán las ramas del antropómetro, y los dedos índices pueden entonces ejercer cierta presión sobre los laterales de las ramas para reducir el grosor del tejido blando superficial (Stewart et al., 2011; Esparza-Ros et al., 2019).

Anteroposterior del abdomen

Definición: Es la distancia lineal horizontal entre el punto del abdomen inmediatamente inferior al ombligo, con el tronco erecto, y la superficie dorsal correspondiente del tronco.

Posición del sujeto: Posición antropométrica pero con los antebrazos cruzados sobre el tórax.

Posición del antropometrista: se sitúa a la derecha del sujeto.

Material: Un calibre de grandes diámetros.

Método: El antropometrista se coloca en el lateral derecho del sujeto y extiende las ramas del antropómetro (nota: las ramas curvas del calibre no se utilizan en esta medida y deben ser retiradas). Cuando se sostengan las ramas, asegúrese de que los pulgares no limiten la medición, o de manera alternativa coloque los pulgares en la parte superior del calibre. Manteniendo el calibre en horizontal, coloque el extremo de una de las ramas sobre la superficie anterior de la piel, justo por debajo del ombligo en la prominencia más anterior, y cierre lentamente la otra rama hasta que se encuentre con la superficie de la espalda a ese nivel. (Con algunos sujetos la rama del calibre tocará la piel en la superficie de la musculatura dorsal, dejando

una concavidad). Vigile el patrón normal de respiración del sujeto durante al menos dos ciclos completos, y registre la medición al final de una espiración no forzada, asegurándose de que las ramas del calibre no comprimen la piel. Se anima a los sujetos a relajarse completamente y a no contraer los músculos abdominales, lo cual reduciría la medida. [Nota: Si el ombligo se encuentre por debajo del nivel de la 5ª vértebra lumbar, la medida se toma en la base de la apófisis espinosa de la 5ª vértebra lumbar, horizontal, con el punto correspondiente en la zona anterior del abdomen].

Biliocrestal

Definición: la distancia lineal entre los puntos más laterales de las crestas ilíacas, las ramas de los calibre de grandes diámetros con una inclinación ascendente de 45°. Este lugar no coincide necesariamente con el mismo lugar que el punto iliocrestale, pues este se localiza en la línea axilar media.

Posición del sujeto: Posición antropométrica con los antebrazos cruzados sobre el tórax.

Posición del antropometrista: se sitúa frente al sujeto.

Material: Un calibre de grandes diámetros

Método: El antropometrista se sitúa enfrente del sujeto, colocando las ramas del antropómetro en ambas crestas ilíacas con una inclinación ascendente de 45°. Se debe aplicar presión para reducir el efecto de los tejidos subyacentes.

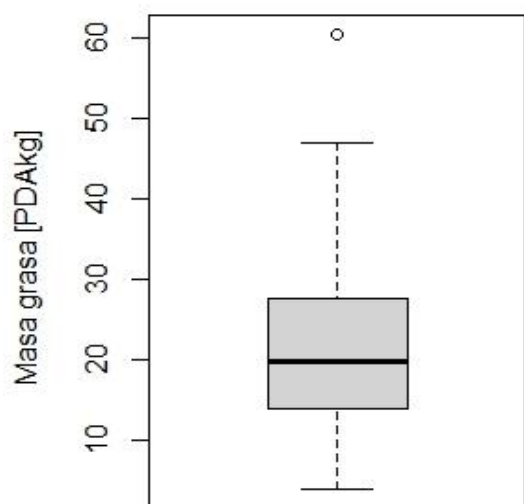
ANEXO 4. Pruebas t y prueba de Levene en las dos muestras de mujeres de Ciudad Juárez, Chihuahua y Tijuana, Baja California.

Estadísticas de grupo

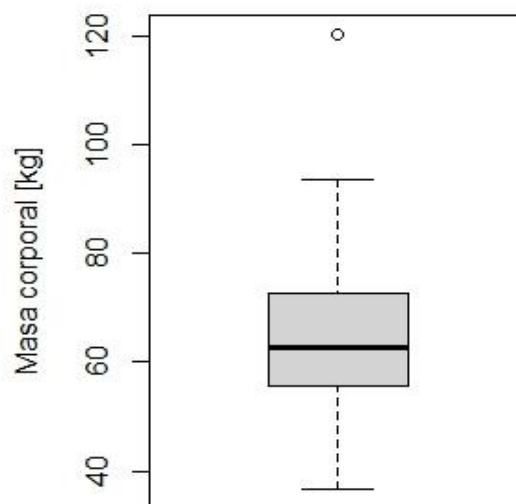
	Estado	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
peso	CJ	40	66,835	14,9342	2,3613
	TJ	61	63,330	13,4036	1,7162

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
peso	Se asumen varianzas iguales	,072	,789	1,228	99	,222	3,5055	2,8537	-2,1570	9,1679
	No se asumen varianzas iguales			1,201	77,099	,233	3,5055	2,9191	-2,3070	9,3180

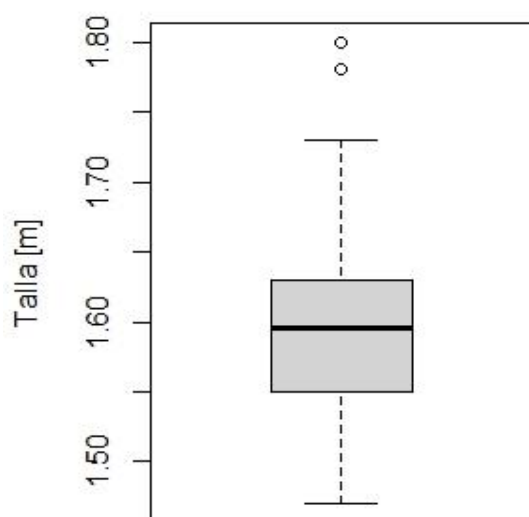
ANEXO 5. Graficas de caja de los datos univariantes de la muestra general de 95 mujeres.



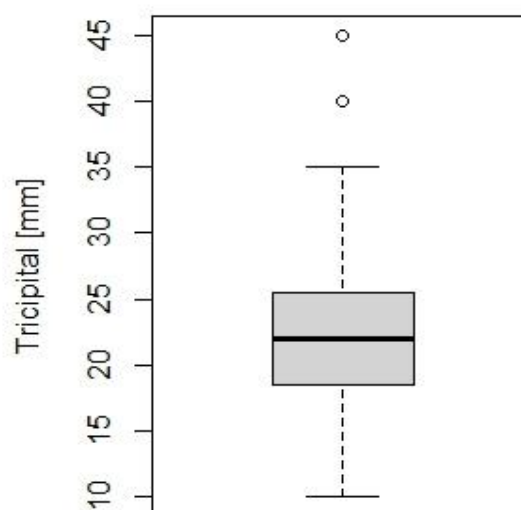
Sexo (mujer)



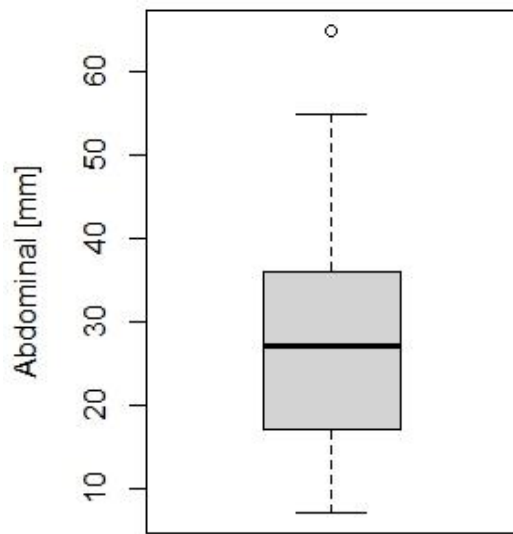
Sexo (mujer)



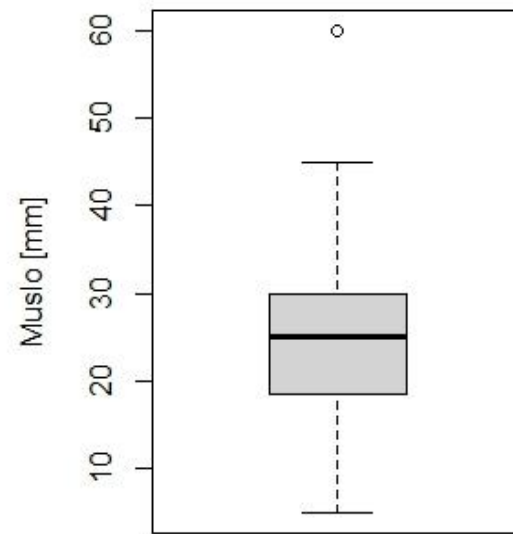
Sexo (mujer)



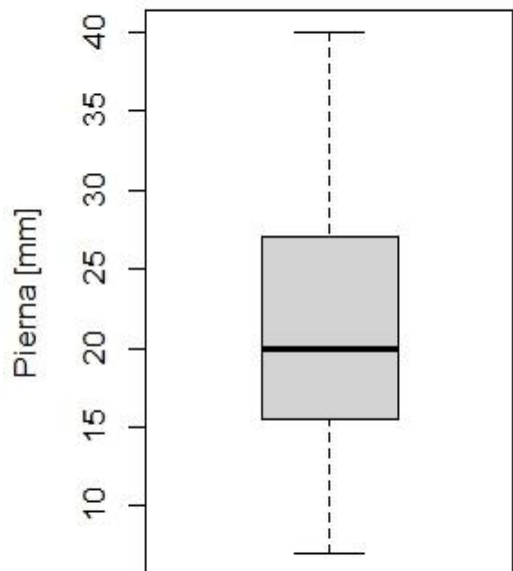
Sexo (mujer)



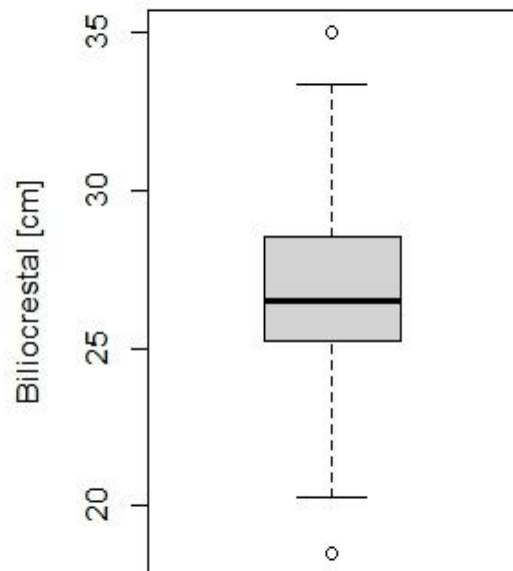
Sexo (mujer)



Sexo (mujer)

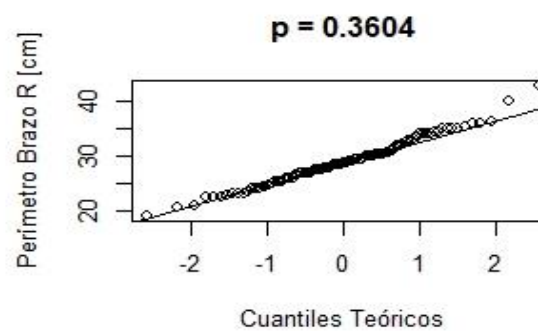
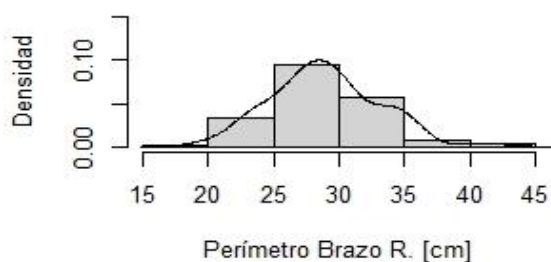
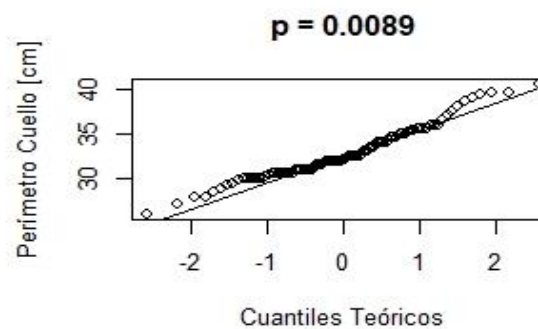
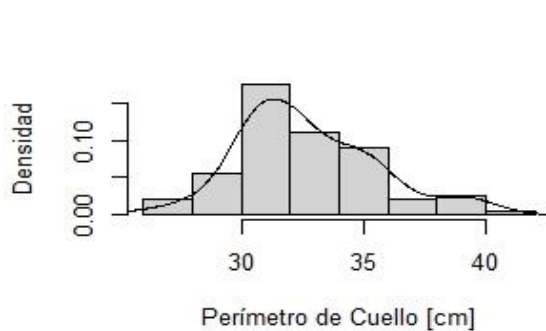
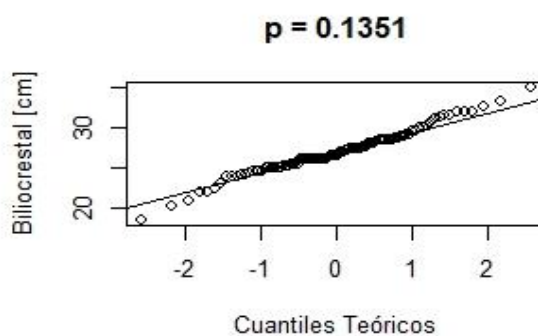
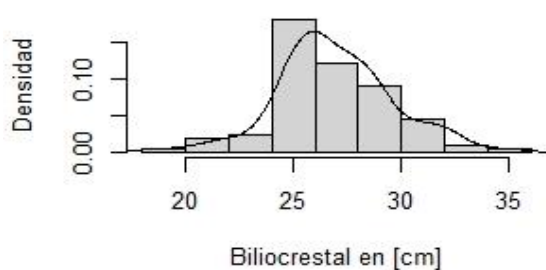
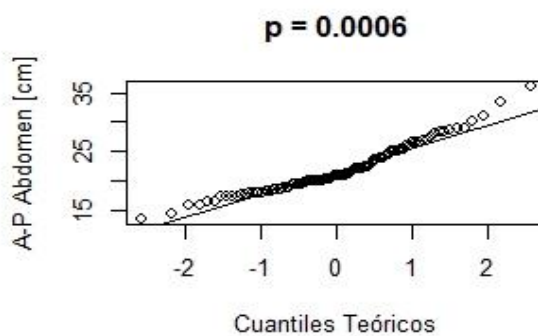
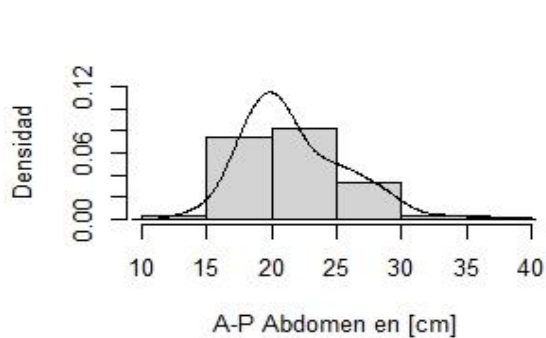


Sexo (mujer)



Sexo (mujer)

ANEXO 6. Datos univariantes representados por histogramas, graficas q-q y prueba de Shapiro-Wilk para la inferencia a una distribución normal.



ANEXO 7. Graficas de elipses de correlación de los parámetros elegidos para el modelo M9p.

