

## Un modelo de tres compartimentos de composición corporal para validar una ecuación antropométrica para estimar la grasa en jugadores de fútbol americano

### A three-compartment model of body composition for validating an anthropometric equation to estimate fatness in football players

\*Jose Omar Lagunes-Carrasco, \*Luis Enrique Carranza-García, \*Ricardo López-García, \*\*Alejandro Legaz-Arrese,  
\*Ricardo Navarro-Orocio, \*Erik Ramírez-López

\*Universidad Autónoma de Nuevo León (México), \*\*Universidad de Zaragoza (España)

**Resumen.** El objetivo de este estudio fue desarrollar una nueva ecuación de regresión antropométrica para predecir el porcentaje de grasa corporal (PGC) en jugadores de fútbol americano utilizando como referencia un modelo de 3 compartimentos (M3C) de composición corporal. Participaron 90 jugadores de fútbol americano (edad  $22.4 \pm 1.7$  años; altura  $178.9 \pm 6.4$  cm; peso  $91.9 \pm 17.0$  kg). Se les evaluó el contenido mineral óseo, la densidad corporal, el grosor de los pliegues cutáneos y el perímetro de la cintura y cadera. Se utilizó la ecuación de Lohman para calcular el porcentaje de grasa corporal a partir del M3C. Se utilizó el análisis stepwise y de regresión para seleccionar y desarrollar los modelos finales. La mejor ecuación fue  $PGC = 0.265 + (0.328 \times SPAPS)$ ; SPAPS: suma de los pliegues cutáneos abdominal, pantorrilla y supraespinal ( $R^2 = 0.83$ ; raíz cuadrada de la medida estándar de error = 2.80;  $p = .000$ ). La nueva ecuación no presentó errores sistemáticos ni proporcionales (intercepción: -3.85 a -0.46; pendiente: 1.01 a 1.22). El sesgo fue de 0.01 y los límites de concordancia fueron de  $\pm 5.5$  de PGC entre la nueva ecuación y el M3C. Desarrollamos una ecuación antropométrica nueva y específica para estimar el PGC en jugadores de fútbol americano utilizando sólo 3 pliegues cutáneos, basado en un mejor M3C como referencia.

**Palabras clave:** Modelo multicomponente, método de campo, antropometría, ecuaciones de pliegues cutáneos, deporte.

**Abstract.** The aim of this study was to develop a new anthropometric regression equation to predict the body fat percentage (BFP) in american football players using as a reference a 3-compartment model (3CM) of body composition. Ninety football players participated (age  $22.4 \pm 1.7$  years; height  $178.9 \pm 6.4$  cm; weight  $91.9 \pm 17.0$  kg). The players were evaluated on bone mineral content, body density, skinfold thickness, and waist and hip perimeters. The Lohman equation was used to calculate body fat percentage from the 3CM. Stepwise and regression analysis was used to select and develop the final models. The best equation was:  $BFP = 0.265 + (0.328 \times SFSUM)$ ; SFSUM: sum of the abdominal, calf, and suprascapular skinfolds ( $R^2 = 0.83$ ; square root of measure standard of error = 2.80;  $p = .000$ ). The new equation did not present systematic or proportional error (intercept: -3.85 to -0.46; slope: 1.01 to 1.22). Bias was 0.01 and the limits of agreement were  $\pm 5.5$  of BFP between the new equation and the 3CM. We developed a new and specific anthropometric equation to estimate BFP in american football players using only 3 skinfolds and based on a better 3CM as a reference.

**Key words:** Multicomponent model, field method, anthropometry, skinfold equations, sport.

## Introducción

El conocimiento de la composición corporal juega un papel importante para disminuir la obesidad, en los resultados del entrenamiento o la salud en general. La grasa corporal es un componente esencial de la composición corporal que relaciona valores elevados con aspectos negativos para la salud (Liang et al., 2018) y con el rendimiento físico de los deportistas (Atakan et al., 2017; Chiarlitti et al., 2018; Figueiredo et al., 2021). Así, la estimación del porcentaje de grasa corporal (PGC) se ha llevado a cabo mediante herramientas que son válidas y confiables como la absorciometría de rayos X de doble energía (DXA) y la plestismografía de desplazamiento de aire con el BOD-POD; sin embargo, son muy costosas, su uso en el deporte es

complicado y requieren personal capacitado e instalaciones adecuadas. Un método alternativo es utilizar ecuaciones antropométricas que incorporen mediciones de pliegues cutáneos o de perímetros (Oliver et al., 2012).

En el fútbol americano sólo dos estudios han publicado algoritmos específicos para predecir el PGC en jugadores de fútbol americano (JFA) de la división I y II de la National Collegiate Athletic Association (NCAA) de Estados Unidos (EE. UU.) (Oliver et al., 2012; Wickkiser & Kelly, 1975). No obstante, estas ecuaciones presentan importantes limitaciones ya que el porcentaje de grasa medido con DXA (Oliver et al., 2012) e hidrodensitometría (Wickkiser & Kelly, 1975) se ha utilizado como patrón de oro. El modelo bicompartimental es el más usado para el análisis de la composición corporal (Almagro Blázquez et al., 2020), sin embargo, previamente ha sido evidenciado que los modelos de tres y cuatro compartimentos son más precisos debido a

---

Fecha recepción: 08-03-22. Fecha de aceptación: 01-07-22

Luis Enrique Carranza García  
luis.carranzagr@uanl.edu.mx

que reducen el error de variación de la masa libre de grasa (MLG) (Alemán-Mateo et al., 2004; Withers et al., 1999; Withers et al., 1998).

Las ecuaciones desarrolladas hasta ahora para estimar el porcentaje de grasa corporal han utilizado atletas estadounidenses, su uso puede ser limitado en otras poblaciones debido a las diferencias culturales y étnicas. En México, el fútbol americano es un deporte que genera un fuerte impacto en las comunidades universitarias; sin embargo, a diferencia de Estados Unidos, prácticamente no existen estudios relacionados con la medición de la composición corporal. Los estudios que existen están relacionados con las lesiones (Castañón-Rojas, 2019), obesidad y sobrepeso (López-García et al., 2021) y las necesidades psicológicas básicas (Rincón-Campos et al., 2019). Por lo tanto, estudiar la composición corporal y desarrollar herramientas específicas para el PGC es de gran interés en estos jugadores y nutricionistas, ya que desarrollar herramientas específicas según cada grupo étnico permitirá estimar la PGC con un mayor nivel de precisión, debido a que las ecuaciones existentes con diferentes grupos étnicos pueden tener diferente validez (Dioum et al., 2005; Jackson et al., 2009; Zillikens & Conway, 1990).

Así como también, permitirá tener un seguimiento antes, durante y después de la temporada. Nuestro objetivo de estudio fue desarrollar una nueva ecuación de regresión antropométrica basada en un modelo de tres compartimentos para estimar el porcentaje de grasa corporal en jugadores mexicanos de fútbol americano.

## Método

Para este estudio se utilizó un diseño descriptivo transversal. Se recomendó a los participantes que se abstuvieran de consumir alcohol, cafeína, bebidas ergogénicas y ejercicio en las 24 horas anteriores a las mediciones. El criterio del PGC se determinó utilizando un modelo de 3 compartimentos (M3C) que empleó la densidad corporal y la masa mineral corporal total. El porcentaje de grasa corporal estimado se determinó con la ecuación de Lohman (1986). Todas las mediciones, incluidas las antropométricas, se realizaron por la mañana de forma secuencial en un laboratorio con los equipos calibrados previamente; los individuos se programaron entre las 6 y las 9 de la mañana después del ayuno.

## Sujetos

Noventa hombres (edad  $22.4 \pm 1.7$  años; altura  $178.9 \pm 6.4$  cm; peso  $91.9 \pm 17.0$  kg; IMC  $28.6 \pm 4.2$ ). Se reclutaron JFA mestizos mexicanos sin componente indígena del equipo campeón 2017 de la Organización Nacional Estudiantil de Fútbol Americano (ONEFA) de México (Ta-

bla 1). Cada sujeto participó voluntariamente y firmó el consentimiento informado por escrito. El protocolo y los procedimientos del estudio fueron aprobados por el comité de ética de la Universidad Autónoma de Nuevo León y se ajustaron a la Declaración de Helsinki. Todos los datos se recogieron tres semanas antes del inicio de la temporada.

Tabla 1  
Características Físicas de Jugadores de Fútbol Americano ( $n = 90$ )

Variable	Media $\pm$ DE	Rango
Edad (años)	$22.4 \pm 1.7$	19.0 – 25.4
Talla (cm)	$178.9 \pm 6.4$	158.0 – 192.0
Peso (kg)	$91.9 \pm 17$	67.2 – 137.6
IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	$28.6 \pm 4.2$	22.0 – 40.9
Pliegue abdominal (mm)	$23.4 \pm 9.0$	5.0 – 45.1
Pliegue pantorrilla (mm)	$9.8 \pm 3.9$	4.0 – 21.4
Pliegue supraespinal (mm)	$13.7 \pm 7.1$	4.0 – 36.0
Perímetro de cintura de NHANES (cm)	$92.5 \pm 10.9$	77.8 – 122.5
Perímetro de cintura de ISAK (cm)	$89.0 \pm 9.7$	76.7 – 118.5
Perímetro de cadera (cm)	$104.2 \pm 8.7$	83.0 – 129.7
Grasa corporal M3C (%)	$15.7 \pm 6.8$	4.0 – 31.4
Grasa corporal M3C (kg)	$15.2 \pm 9.0$	3.0 – 42.7

Nota: HHANES: National health and nutrition examination survey. Medida de circunferencia a nivel del borde superior de la cresta ilíaca; ISAK: International society advancement kinanthropometry. Medida de circunferencia en el punto más estrecho entre la última costilla y la cresta ilíaca; M3C: Modelo de tres compartimentos.

## Procedimientos

**Antropometría.** Se obtuvieron mediciones antropométricas en cada sujeto. Todas las mediciones fueron realizadas por un técnico certificado (JOLC) de acuerdo con las directrices de la Sociedad Internacional para el Avance de la Kinantropometría – ISAK. (Esparza Ros et al., 2019). El peso corporal se midió con una báscula digital (0-200  $\pm$  0.01 kg, SECA 813, Hamburgo, Alemania). La altura se midió con un estadiómetro (20-205  $\pm$  0.5 cm; SECA 225). Los pliegues cutáneos se midieron en seis lugares del cuerpo (tricipital, bicipital, supraespinal, abdominal, muslo medial y pantorrilla) con un calibrador Harpenden Skinfold (0-80  $\pm$  0.2 mm; John Bull British Indicators®, Inglaterra).

Brevemente, todos los pliegues cutáneos se identificaron por puntos de referencia anatómicos y se midieron en el lado derecho del cuerpo. Las mediciones se realizaron en orden de los pies a la cabeza y luego se repitieron en el mismo orden. Si dos medidas de pliegues cutáneos diferían en más de 0.5 mm, se realizaba una tercera medición. Los perímetros del cuerpo se midieron con una cinta métrica de metal (0-200  $\pm$  0.1 cm, Rosscraft, BC, Canadá). El perímetro de cintura ISAK se midió en el punto medio entre la cresta ilíaca y la costilla más baja hasta los 0.1 cm más cercanos, la cintura NHANES en el borde superior de la cresta ilíaca (NHANES, 2007) y la circunferencia de la cadera en la parte más ancha del glúteo.

**Densidad corporal.** La densidad corporal (DC) se midió con un pletismógrafo de desplazamiento de aire BOD-POD (Body Composition System 2007, Life Measurement Ins-

truments, Cosmed, CA, versión 5.2.0). El peso, el volumen corporal y el volumen pulmonar residual se midieron siguiendo las recomendaciones del fabricante (McCroory et al., 1998). Cada medición se realizó por duplicado para garantizar que concordara en los sujetos que vestían traje de baño y gorra para esta medición.

*Masa mineral corporal total.* El contenido mineral óseo (CMO) fue medido por DXA (GE Lunar Prodigy Advance Bone Densitometer, EnCore software versión 16, GE Lunar Radiation Corporation, Madison, WI, US). Para un mayor control en la valoración del CMO, los JFA no usaron joyas en su cuerpo, se descalzaron y vistieron traje de baño. Los atletas estuvieron exentos de alguna enfermedad subyacente al medir el CMO. El equipo se calibró correctamente para las mediciones siguiendo las recomendaciones del fabricante (Nana et al., 2015). La masa mineral corporal total (MCT) se obtuvo multiplicando el CMO x 1.279 (Heymsfield et al., 1990). Todas las mediciones fueron realizadas por el mismo operador.

*El modelo de tres compartimentos como estándar de referencia para PGC.* Los valores de densidad corporal y masa mineral total se utilizaron para determinar el PGC, utilizando el M3C como referencia, aplicando la ecuación de Lohman (1986)  $PGC = 6,386 \div DC + (3,96 \times MCT \div \text{peso}) - 6,090 \times 100$ ; donde PGC es el porcentaje de grasa corporal; DC es la densidad corporal, y MCT es el mineral corporal total del cuerpo.

### Análisis estadístico

La presencia de valores atípicos para cada variable se verificó mediante el método Tukey. La estadística descriptiva de las variables continuas se presentó como media  $\pm$  desviación estándar (DE). El PGC medido con el M3C fue la variable dependiente. Las variables predictoras fueron peso, altura, IMC, pliegues cutáneos y perímetros. La selección de las variables se realizó con el software NCSS8, versión 8.0.18 utilizando el procedimiento de regresión múltiple stepwise, verificando el valor de  $R^2$  y el error cuadrático medio de la raíz estándar (ECMRE). El diagnóstico de regresión se realizó mediante el análisis de normalidad, la varianza y la presencia de valores atípicos. La multicolinealidad se verificó con el número de condición ( $NC < 30.0$ ) y el factor de inflación de varianza ( $FIV < 10.0$ ). Asimismo, se analizó la presencia de diferencias sistemáticas y proporcionales con el procedimiento de regresión Passing y Bablok (1983). La precisión individual y la presencia de valores atípicos se evaluaron con los métodos Bland y Altman (1999) y Tukey (respectivamente), con el software Pass 11 versión 11.0.10 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville, UT, US). La significación estadística se estableció en el nivel de  $p < .05$ .

## Resultados

Se excluyeron del análisis a cinco JFA porque la detección demostró valores atípicos de IMC de 41 a 46  $\text{kg}/\text{m}^2$  y en pliegue supraespinal de 34 a 42 mm. Además, cuatro de los cinco jugadores tenían un perímetro de cintura NHANES de 113 a 129 cm y un perímetro de cintura ISAK de 121 a 126 cm. Por último, tres tenían un pliegue cutáneo de la pantorrilla de 23 a 31 mm.

### Desarrollo de la ecuación

Al principio, con la presencia de cinco valores atípicos, se seleccionaron como variables los pliegues cutáneos abdominal y supraespinal ( $R^2 = 0.83$ ;  $ECMRE = 3.22\%$ ). Cuando se excluyeron los valores atípicos, se seleccionó como variable principal la suma de tres pliegues cutáneos (abdominal, supraespinal y de la pantorrilla;  $R^2 = 0.83$ ,  $p = .000$ ), resultando en una disminución de 0.42% del ECMRE. Además, la distribución de los residuos fue más homogénea (Tabla 2).

La ecuación 2 ( $p = .000$ ) incluyó sólo el pliegue cutáneo abdominal, que explicaba el 79% de la varianza del PGC del M3C. No obstante, el ECMRE aumentó un 0.34%. Cuando se añadieron los pliegues cutáneos supraespinal y de la pantorrilla (ecuación 3), el  $R^2$  y el ECMRE no cambiaron (Tabla 2).

Otras variables que tuvieron una correlación significativa con el PGC ( $r > 0.79$ ;  $p = .000$ ) fueron el peso, el IMC, el perímetro de cintura ISAK, el perímetro de cintura NHANES y el perímetro de cadera. Sin embargo, la ecuación 4 ( $p = .000$ ) mostró que estas variables no mejoraban la predicción del PGC ni disminuían el ECMRE; en cambio, sí aumentaban la colinealidad ( $NC > 30$ ; Tabla 2).

La ecuación 1 (la suma de los tres pliegues cutáneos) se consideró para una validación no cruzada comparando su precisión grupal (error sistemático y proporcional) e individual (límites de concordancia) con respecto al M3C. No se encontró ningún error sistemático y proporcional con respecto al M3C (ecuación 1: intercepto -2.16; pendiente 1.11; Figura 1A; Tabla 3). La precisión de la ecuación mostró que en el 95% de los casos las diferencias en la estimación del PGC entre la ecuación y el M3C fueron de 5.5 a -5.5% (Figura 1B; Tabla 3).

## Discusión

Hemos desarrollado ecuaciones antropométricas para estimar el PGC basado en el M3C en JFA mexicanos. En este momento, las ecuaciones antropométricas reportadas en la literatura científica para calcular PGC son para los JFA de la NCAA y están basados en DXA (Oliver et al., 2012) e

Tabla 2  
Ecuaciones de Predicción para la Grasa Corporal Total en Jugadores de Fútbol Americano (n=85)

Variable	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup>	ECMRE	valor de P	FIV	NC
<b>Ecuación 1</b>						
1. Suma de pliegues abdominales, pantorrilla y supraespal	$0.265 + 0.328 \times \text{SPAPS}$	0.83	2.80	.000	1.0	1.0
<b>Ecuación 2</b>						
1. Pliegue abdominal	$0.058 + 0.668 \times \text{PA}$	0.79	3.14	.000	1.0	1.0
<b>Ecuación 3</b>						
2. Pliegue abdominal	$0.058 + 0.668 \times \text{PA}$	0.79	3.14	.000	1.0	1.0
3. Pliegue supraespal	$1.058 + 0.406 \times \text{PA} + 0.373 \times \text{PSE}$	0.82	2.91	.000	4.8	17.0
4. Pliegue de pantorrilla	$0.071 + 0.381 \times \text{PA} + 0.291 \times \text{PP} + 0.279 \times \text{PSE}$	0.83	2.83	.000	5.6	23.8
<b>Ecuación 4</b>						
5. Peso	$0.277 + 0.381 \times \text{PA} + 0.293 \times \text{PP} + 0.284 \times \text{PSE} - 0.003 \times \text{P}$	0.83	2.85	.000	2.8	32.8
6. IMC	$0.856 + 0.384 \times \text{PA} - 0.038 \times \text{IMC} + 0.294 \times \text{PP} + 0.293 \times \text{PSE}$	0.83	2.84	.000	6.6	32.1
7. Perímetro de cintura ISAK	$-0.617 + 0.380 \times \text{PA} + 0.010 \times \text{PC1} + 0.290 \times \text{PP} + 0.270 \times \text{PSE}$	0.83	2.85	.000	7.6	36.3
8. Perímetro de cintura NHANES	$-0.204 + 0.380 \times \text{PA} + 0.004 \times \text{PC2} + 0.289 \times \text{PP} + 0.276 \times \text{PSE}$	0.83	2.85	.000	7.2	34.8
9. Perímetro de cadera	$-1.335 + 0.380 \times \text{PA} + 0.016 \times \text{PC} + 0.285 \times \text{PP} + 0.268 \times \text{PSE}$	0.83	2.84	.000	6.6	32.7

SPAPS: suma de pliegues abdominal, pantorrilla y supraespal (mm); PA: Pliegue abdominal (mm); PSE: Pliegue supraespal (mm); PP: Pliegue pantorrilla (mm); P: peso (kg); IMC: Índice de masa corporal ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ); PC1: Perímetro cintura (ISAK) (cm); PC2: Perímetro cintura (NHANES) (cm); PC: Perímetro cadera (cm); ECMRE: Error cuadrático medio de la raíz estándar; FIV: Factor de inflación de la varianza; NC: Número de condición.

Tabla 3  
Exactitud del grupo y precisión individual de las ecuaciones antropométricas de regresión frente a % de grasa M3C

Ecuaciones antropométricas	Valor estimado (%)	Media de las diferencias	Límites de concordancia	Intercepto A (IC)	Pendiente B (IC)
<b>Ecuación 1</b>					
1. Suma de pliegues abdominal, pantorrilla y supraespal	$15.7 \pm 6.14$	0.01	-5.5 a 5.5	-2.16 (-3.85 a -0.46)	1.11 (1.01 a 1.22)
<b>Ecuación 2</b>					
1. Pliegue abdominal	$15.7 \pm 5.98$	0.01	-6.1 a 6.1	-2.07 (-4.15 a -0.02)	1.13 (1.01 a 1.27)
<b>Ecuación 3</b>					
1. Pliegue abdominal	$15.7 \pm 5.98$	0.01	-6.1 a 6.1	-2.07 (-4.15 a -0.02)	1.13 (1.01 a 1.27)
2. Pliegue supraespal	$15.7 \pm 6.10$	0.01	-5.6 a 5.6	-2.29 (-4.15 a -0.47)	1.12 (1.01 a 1.24)
3. Pliegue pantorrilla	$15.7 \pm 6.14$	-0.01	-5.5 a 5.4	-2.11 (-3.77 a -0.49)	1.11 (1.01 a 1.21)

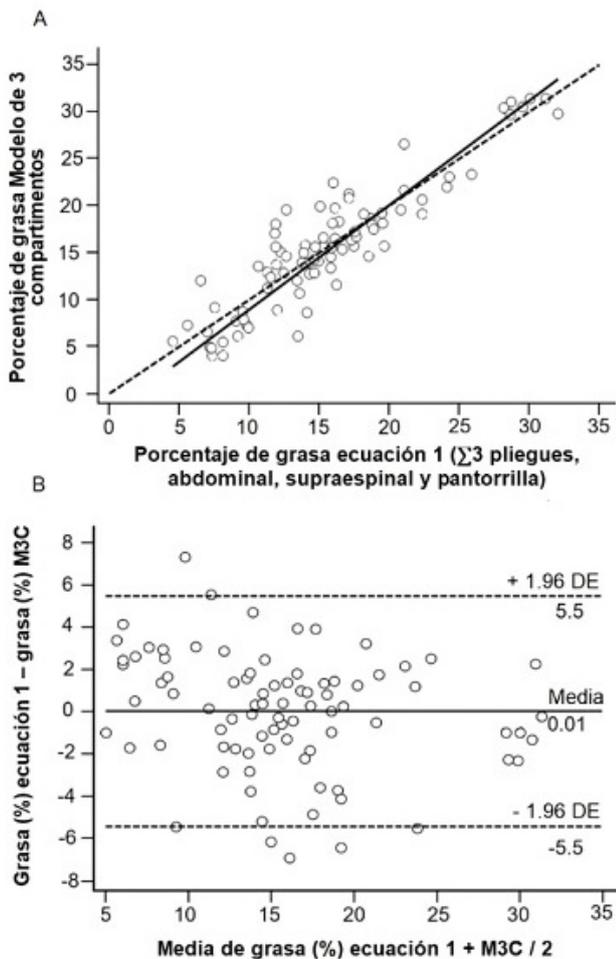
Nota: IC: 95% Intervalo de confianza.

hidrodensitometría (Wickkiser & Kelly, 1975). Hasta donde sabemos, este trabajo es el primer estudio realizado en JFA que utiliza el M3C, así como a poblaciones no caucásicas o afroamericanas.

El M3C ofrece una medida más exacta de la MLG que el M2C porque la variabilidad del contenido mineral óseo se controla asumiendo una constante proteína/agua de 0.26 (Friedl et al., 1992; Fuller et al., 1992; Withers et al., 1999). Por el contrario, la medición de la grasa corporal por hidrodensitometría supone que la MLG tiene una densidad constante de  $1.1000 \text{ g}/\text{cm}^3$  y un contenido de agua del 73.72% (Ellis, 2000). En cambio, el método de referencia DXA comparado con un modelo multicompartimento ha mostrado una ligera sobreestimación de la grasa corporal. Algunas de las razones de estas diferencias pueden deberse a las variaciones en la hidratación de la MLG (Kuriyan et al., 2014). Elegimos el M3C con base a la MCT ya que el factor de hidratación de la MLG (agua corporal total/masa libre de grasa) de nuestra muestra fue cercano al valor de referencia (0.73) (Wang et al., 1999). Para el desarrollo de las nuevas ecuaciones se consideraron 14 mediciones antropométricas con una relación biológica con el porcen-

taje de grasa (Parízková & Bůzková, 1971) y utilizadas en estudios previos con JFA (Oliver et al., 2012; Wickkiser & Kelly, 1975). El principal hallazgo de este estudio es que la ecuación 1 no incluyó mediciones de perímetros corporales sino la suma de los tres pliegues cutáneos (abdominal, supraespal y pantorrilla) que explican la varianza en  $R^2 = 0.83$  con un ECMRE 2.80%. En las primeras ecuaciones de PGC en JFA (Wickkiser & Kelly, 1975), incluyeron la circunferencia de la cintura, el pliegue cutáneo del tríceps y la altura como variables predictoras ( $R^2 = 0.96$  con un ECMRE de 0.0041).

Posteriormente, las ecuaciones desarrolladas (Oliver et al., 2012) en JFA de la División I de la NCAA incluyeron el perímetro de cadera, perímetro umbilical y la suma del pliegue cutáneo (tórax, tríceps, subescapular, medioaxilar, suprailíaco, abdominal y muslo medial) con un  $R^2 = 0.94$  y un ECMRE de 2.4%. Se encontraron correlaciones más fuertes en las mediciones de pliegues cutáneos ( $r = 0.82$  a  $0.99$ ;  $p = .000$ ) que en los perímetros corporales ( $r = 0.71$  a  $0.86$ ;  $p = .000$ ). Esto sugiere que el cuerpo físico de los jugadores en nuestro estudio se explica mejor por el componente de grasa medido por el tejido adiposo



que por los perímetros que incluyen componentes magros y mineral óseo, lo que podría influir en la selección de variables.

Con la intención de verificar si era posible incluir un menor número de mediciones manteniendo la misma precisión, desarrollamos un segundo modelo (ecuación 2), que resultó en la única selección del pliegue cutáneo abdominal. Esto resultó en una disminución en  $R^2$  ( $R^2 = 0.79$ ) y un aumento en el ECMRE (3.14%) en relación con la ecuación 1. Cuando se probó el tercer modelo, la adición por separado de los pliegues supraespinal y de pantorrilla dio como resultado un  $R^2 = 0.83$  y un ECMRE 2.83% (Tabla 2). Las ecuaciones 1 y 3 mostraron el mismo valor  $R^2$  ( $R^2 = 0.83$ ) pero la dispersión de los valores residuales de la ecuación 1 fueron más homogéneos y el ECMRE fue mejor en un 0.03%. Asimismo, la ecuación 3 frente a la ecuación 1 mostraron una mayor inflación de varianza (4.6) y número condicionante (22.8), lo que provocó un mayor riesgo de colinealidad. Otras ecuaciones en adultos normales o atletas evitaron problemas de colinealidad entre variables seleccionando 4 o más pliegues cutáneos (Durnin & Womersley, 1974; Jackson & Pollock, 1985).

Con un cuarto y último modelo, intentamos encontrar variables potenciales adicionales a la ecuación 1 para mejorar la predicción, pero el peso, el IMC, la circunferencia de la cintura ISAK, la circunferencia de la cintura NHANES y la circunferencia de la cadera no mejoraron la explicación del PGC ( $R^2 = 0.83$ ; ECMRE = 2.85%) y aumento de los problemas de colinealidad ( $NC > 30$ ). Por otro lado, observamos que los jugadores de nuestro estudio eran más bajos (6.7 cm) y más pesados (11.2 kg;  $IMC = 1.49 \text{ kg/m}^2$ ) que los jugadores de la NCAA (Oliver et al., 2012). En términos de composición corporal, el porcentaje de grasa medido con DXA en los jugadores de la NCAA tuvo una media del 15.3%, mientras que los jugadores de nuestro estudio tuvieron un 22.8%; en otras palabras, una diferencia 7% mayor que los jugadores de la NCAA. Estas diferencias en el tamaño y la composición corporal entre los jugadores de nuestra muestra y de la NCAA sugieren que diferentes variables pueden explicar el PGC con mayor precisión en ambos grupos.

En nuestro estudio, evaluamos 90 JFA; esta muestra limita una validación cruzada de la ecuación. Estudios similares han incluido entre 68 y 157 JFA de la NCAA (Oliver et al., 2012; Wickkiser & Kelly, 1975). Estos estudios no han podido validar una muestra independiente (Oliver et al., 2012). En este sentido, decidimos realizar un análisis de exactitud grupal y precisión individual de la ecuación 1 (la suma de 3 pliegues cutáneos) frente al M3C. La precisión grupal de la ecuación 1 mostró que la regresión lineal no era diferente de la identidad; por lo tanto, no hubo evidencia de error sistemático o proporcional con ninguno de los métodos (Figura 1A; ecuación 1 vs M3C). El sesgo fue de 0.01% de grasa corporal (Figura 1B) y los límites de concordancia mostraron que la compatibilidad entre la ecuación 1 y la M3C está dentro de -5.5 a 5.5% de grasa corporal en 95% de los casos (Figura 1B; Tabla 3). Esto muestra que medir la grasa corporal con la ecuación 1 podría ser hasta un 5.5% más alto o bajo que el M3C. Las ecuaciones antropométricas propuestas recientemente para la población general basadas en el NHANES y la DXA muestran que, en una población heterogénea, el sesgo es mayor (-1.18 a +0.45 %) (Lee et al., 2017).

Se ha reportado que los JFA tienen factores de riesgo cardiovascular, como el síndrome metabólico, asociados con un PGC alto (Potteiger & McGowan-Stinski, 2015). La ecuación 1 es la más adecuada y se puede utilizar para evaluar el estado de salud, ajustar la dieta, evaluar la eficacia de la planificación de la fuerza y el acondicionamiento físico en JFA (Oliver et al., 2012) cuando no se cuente con otro método disponible como el DXA. La suma de los 3 pliegues cutáneos en la ecuación 1 es simple y rápida, así como más práctica y específica que la bioimpedancia eléctrica o el uso de ecuaciones no desarrolladas con el M3C. Para futuros

estudios, sugerimos incluir una mayor muestra de jugadores de otros equipos de la misma liga para mejorar la validación externa y confirmar su precisión.

Los entrenadores y nutricionistas sin equipos tecnológicos costosos o un laboratorio pueden usar una ecuación antropométrica válida para estimar y monitorear el porcentaje de grasa corporal. Además, la metodología utilizada como referencia para calcular el porcentaje de grasa corporal se puede utilizar en estudios similares para atletas de otros deportes.

## Conclusiones

A partir del modelo de 3 compartimientos ha sido desarrollada una ecuación antropométrica que requiere solo 3 pliegues cutáneos para estimar el porcentaje de grasa corporal en jugadores de fútbol americano de etnia mexicana. Esta ecuación es simple y precisa y puede servir de referencia para jugadores, nutricionistas o entrenadores.

## Agradecimientos

Los autores reconocen a los entrenadores Juan Antonio Zamora Montemayor y Jorge Enrique Valdez Calvillo por su apoyo y colaboración en la recogida de datos. Esta investigación contó con el apoyo de la Facultad de Organización Deportiva de la Universidad Autónoma de Nuevo León (México). Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

## Referencias

- Alemán-Mateo, H., Romero, J. E., Morales, N. M., Salazar, G., Triana, M. H., & Valencia, M. E. (2004). Body composition by three-compartment model and relative validity of some methods to assess percentage body fat in Mexican healthy elderly subjects. *Gerontology*, *50*(6), 366–372. <https://doi.org/10.1159/000080174>
- Almagro Blázquez, M., Ferrer-López, V., & Martínez González-Moro, I. (2020). Relación entre factores antropométricos y de composición corporal con el rendimiento físico en piragüistas veteranos (Relationship between anthropometric factors and body composition with physical performance in veteran kayakers). *Retos*, *38*, 53–57. <https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.72661>
- Atakan, M. M., Unver, E., Demirci, N., Bulut, S., & Turnagol, H. H. (2017). Effect of body composition on fitness performance in young male football players. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, *19*(1), 54–59.
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, *8*(2), 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- Castañón-Rojas, F. L. (2019). Importancia y beneficios de la intervención fisioterapéutica en jugadores de fútbol americano [Importance and benefits of physiotherapeutic intervention in American football players]. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, *57*(4), 241–246.
- Chiarlitti, N. A., Delisle-Houde, P., Reid, R., Kennedy, C., & Andersen, R. E. (2018). Importance of body composition in the national hockey league combine physiological assessments. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(11), 3135–3142. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002309>
- Dioum, A., Gartner, A., Maire, B., Delpeuch, F., & Wade, S. (2005). Body composition predicted from skinfolds in African women: a cross-validation study using air-displacement plethysmography and a black-specific equation. *The British Journal of Nutrition*, *93*(6), 973–979. <https://doi.org/10.1079/bjn20051426>
- 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. <https://doi.org/10.1079/bjn19740060>
- Ellis, K. J. (2000). Human body composition: in vivo methods. *Physiological Reviews*, *80*(2), 649–680. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.2.649>
- Esparza Ros, F., Vaquero Cristóbal, R., & Marfell Jones, M. (2019). International Standards for Anthropometric Assessment-International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). *Universidad Católica de Murcia (UCAM)*.
- Figueiredo, D. H., Dourado, A. C., Stanganelli, L. C. R., & Gonçalves, H. R. (2021). Evaluación de la composición corporal y su relación con la aptitud física em futbolistas profesionales al inicio de la pré-temporada (Evaluation of body composition and its relationship with physical fitness in professional soccer players at the beginni. *Retos*, *40*, 117–125. <https://doi.org/10.47197/retos.v1i40.82863>
- Friedl, K. E., DeLuca, J. P., Marchitelli, L. J., & Vogel, J. A. (1992). Reliability of body-fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *55*(4), 764–770. <https://doi.org/10.1093/ajcn/55.4.764>
- Fuller, N. J., Jebb, S. A., Laskey, M. A., Coward, W. A., & Elia, M. (1992). Four-component model for the assessment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass. *Clinical Science (London, England: 1979)*, *82*(6), 687–693. <https://doi.org/10.1042/cs0820687>
- Heymisfield, S. B., Lichtman, S., Baumgartner, R. N., Wang, J., Kamen, Y., Aliprantis, A., & Pierson, R. N., Jr (1990). Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *52*(1), 52–58. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.1.52>

- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1985). Practical assessment of body composition. *The Physician and Sportsmedicine*, 13(5), 76–90. <https://doi.org/10.1080/00913847.1985.11708790>
- Jackson, A. S., Ellis, K. J., McFarlin, B. K., Sailors, M. H., & Bray, M. S. (2009). Cross-validation of generalised body composition equations with diverse young men and women: the Training Intervention and Genetics of Exercise Response (TIGER) Study. *The British Journal of Nutrition*, 101(6), 871–878. <https://doi.org/10.1017/S0007114508047764>
- Kuriyan, R., Thomas, T., Ashok, S., Jayakumar, J., & Kurpad, A. V. (2014). A 4-compartment model based validation of air displacement plethysmography, dual energy X-ray absorptiometry, skinfold technique & bio-electrical impedance for measuring body fat in Indian adults. *The Indian Journal of Medical Research*, 139(5), 700–707.
- 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. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002665>
- Liang, X., Chen, X., Li, J., Yan, M., & Yang, Y. (2018). Study on body composition and its correlation with obesity: A Cohort Study in 5121 Chinese Han participants. *Medicine*, 97(21), e10722. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000010722>
- Lohman, T. G. (1986). Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 14, 325–357. <https://doi.org/10.1249/00003677-198600140-00014>
- López-García, R., Lagunes-Carrasco, J. O., Carranza-García, L. E., & Navarro-Orocio, R. (2021). Tendencia al sobrepeso y obesidad en jugadores de fútbol americano universitario en México (Trending overweight and obesity in college football players in Mexico). *Retos*, 40, 289–295. <https://doi.org/10.47197/retos.v1i40.79707>
- McCrory, M. A., Molé, P. A., Gomez, T. D., Dewey, K. G., & Bernauer, E. M. (1998). Body composition by air-displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 84(4), 1475–1479. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.84.4.1475>
- Nana, A., Slater, G. J., Stewart, A. D., & Burke, L. M. (2015). Methodology review: using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for the assessment of body composition in athletes and active people. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(2), 198–215. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.2013-0228>
- National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). (2007). Anthropometry procedures manual. Available online: [http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes\\_07\\_08/manual\\_an.pdf](http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_07_08/manual_an.pdf)
- Oliver, J. M., Lambert, B. S., Martin, S. E., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2012). Predicting football players' dual-energy x-ray absorptiometry body composition using standard anthropometric measures. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 257–263. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.12>
- Parízková, J., & Bůžková, P. (1971). Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Human Biology*, 43(1), 16–21.
- Passing, H., & Bablok (1983). A new biometrical procedure for testing the equality of measurements from two different analytical methods. Application of linear regression procedures for method comparison studies in clinical chemistry, Part I. *Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry. Zeitschrift für Klinische Chemie und Klinische Biochemie*, 21(11), 709–720. <https://doi.org/10.1515/cclm.1983.21.11.709>
- Potteiger, J. A., & McGowan-Stinski, M. (2015). Protecting the metabolic health of football players with high fat mass. *Strength & Conditioning Journal*, 37(6), 95-101. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000158>
- Rincón-Campos, Y. E., Sanchez-Lopez, J., López-Walle, J. M., & Ortiz-Jiménez, X. (2019). Dynamics of executive functions, basic psychological needs, impulsivity, and depressive symptoms in american football players. *Frontiers in Psychology*, 10, 2409. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02409>
- Wang, Z., Deurenberg, P., Wang, W., Pietrobelli, A., Baumgartner, R. N., & Heymsfield, S. B. (1999). Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 833–841. <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.5.833>
- Wickkiser, J. D., & Kelly, J. M. (1975). The body composition of a college football team. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 199–202. <https://doi.org/10.1249/00005768-197500730-00017>
- Withers, R. T., LaForgia, J., & Heymsfield, S. B. (1999). Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 11(2), 175–185. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(1999\)11:2<175::AID-AJHB5>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1999)11:2<175::AID-AJHB5>3.0.CO;2-C)
- Withers, R. T., LaForgia, J., Pillans, R. K., Shipp, N. J., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., & Leaney, F. (1998). Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 85(1), 238–245. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.1.238>
- Zillikens, M. C., & Conway, J. M. (1990). Anthropometry in blacks: applicability of generalized skinfold equations and differences in fat patterning between blacks and whites. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52(1), 45–51. <https://doi.org/10.1093/ajcn/52.1.45>