



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Fórmulas para la estimación rápida del peso
a partir de la edad y su correlación con el
peso medido en una población pediátrica de
Colombia entre los 2 y 15 años**

Yefry Andrés Aragón Joya

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Pediatría
Bogotá, Colombia

2017

Fórmulas para la estimación rápida del peso a partir de la edad y su correlación con el peso medido en una población pediátrica de Colombia entre los 2 y 15 años

Yefry Andrés Aragón Joya

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Pediatría

Director:

Doctor Rafael Guerrero Lozano

Profesor Titular. Médico Gastroenterólogo Pediatra

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Pediatría

Bogotá, Colombia

2017

A Nelsy Rocío, el amor de mi vida, quien me ha conocido tal como soy y me ha enseñado la esencia de la vida.

Agradecimientos

Al alma mater de todos los colombianos, la Universidad Nacional de Colombia, no solo por permitirme ser profesional en la medicina, sino por darme la oportunidad de acercarme y amar el conocimiento y ver la universalidad de la existencia humana. Los conocimientos y herramientas requeridas para llevar a cabo este trabajo se lograron gracias a UN recinto académico.

Un agradecimiento especial al doctor Jairo Echeverry Raad profesor titular del Departamento de Pediatría de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia quien ayudó y aconsejó en todas las fases de este trabajo, sin sus aportes no habría sido posible la realización del mismo.

Resumen

En ocasiones se requiere hacer una estimación del peso en población pediátrica cuando no se cuenta con las herramientas para su medición directa, en especial en contextos de atención prehospitalaria y de urgencias. Para ello existen diferentes métodos para la estimación del peso dentro de los que se encuentran las ecuaciones creadas por regresión lineal. Se propone evaluar la correlación y concordancia entre el peso medido en báscula y el peso estimado a partir de la edad usando siete fórmulas en niños y adolescentes entre los 2 y 15 años de edad procedentes de la comunidad de la ciudad de Ibagué y sujetos atendidos en dos centros hospitalarios en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Se recolectaron 259 sujetos de ambos sexos, se realizó un análisis de correlación a partir de diferentes coeficientes, además de evaluar el nivel de precisión de cada fórmula frente al peso medido y el porcentaje de error en la estimación. También se propuso crear una nueva ecuación con miras a optimizar la concordancia.

De las siete fórmulas utilizadas se encontró que la mejor correlación se logra con la ecuación de Argall ($r = 0,8679$) con una precisión de $-0,43$ kg (IC 95% $-1,26$ a $0,41$) y un PE de $-5,14\%$ (IC95% $-7,57$ a $-2,71$). Ninguna de las fórmulas logra una adecuada estimación del peso en niños con desnutrición y obesidad. Además, se propone una nueva fórmula cuya expresión matemática es **(edad en años x 3) + 3**; con un r de $0,886$, una precisión de $0,02$ kg (IC95% $-0,79$ a $0,83$) y un PE de $0,006\%$ (IC95% $-2,64$ a $2,65$).

Palabras clave: Peso corporal, edad, estimación, niño, correlación, concordancia.

Abstract

Occasionally should have an estimation of weight in children when does not have conditions for a suitable measurement, in special for prehospital care and emergencies. Exist different methods for estimating weight as formulas created by lineal regression. This study proposes to evaluate the correlation and concordance between weight measured with a scale and seven age-based equations in children and adolescents between 2-15 years old come from community's Ibagué and subjects looked after in two hospital centers in Bogotá.

The study gathered 259 persons both sex, it carried out a correlation analysis with different coefficients. Besides to evaluate the accuracy level for each formula with measurement weight and the error percentage (EP) in the estimations. Also, created a new equation for optimizing the concordance.

Better correlation was with Argall formula (pc 0,8679) with an accuracy -0,43 kg (CI 95% -1,26 to 0,41) and a EP -5,14% (CI 95% -7,57 to -2,71). All formulas do not reach a suitable estimation of weight in children with malnutrition and obesity. The new formula proposed, expressed as **(age in years x 3) + 3**; has a pc 0,886, an accuracy 0,02 kg (CI 95% -0,79 to 0,83) and a EP 0,006% (IC95% -2,64 to 2,65). New studies are required for validating the Aragon's formula.

Keywords: Body weight, age, estimation, child, correlation, agreement.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XII
Lista de tablas	XIII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIV
Introducción	1
1. Metodología.....	5
1.1 Selección y descripción de participantes	5
1.2 Información técnica	6
1.3 Métodos estadísticos.....	7
2. Aspectos éticos.....	8
3. Resultados.....	9
4. Discusión.....	17
5. Conclusiones.....	21
Bibliografía	22

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Método de Bland-Altman para valorar la concordancia del peso medido y las fórmulas de Argall (A), Luscombe (B) y Aragón 1 (C)..... 14

Figura 2. Categorías nutricionales según el uso de las fórmulas de Argall (A) y Aragón 1 (B) respecto a su comparación con el peso medido..... 15

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Fórmulas usadas para la estimación del peso (kg) usando la edad en años	3
Tabla 2. Descripción de variables demográficas y nutricionales.....	10
Tabla 3. Medidas de tendencia central de la edad y de las mediciones antropométricas	11
Tabla 4. Coeficientes de correlación de cada ecuación evaluada	12
Tabla 5. Diferencias en la estimación del peso para cada fórmula según la precisión y el porcentaje de error frente al peso medido	13
Tabla 6. Fórmulas propuestas derivadas de los datos de la muestra recolectada (Fórmulas de Aragón).....	13
Tabla 7. Correlación y concordancia de las fórmulas de Aragón.....	14
Tabla 8. Categorías nutricionales según el uso del peso medido y de cada una de las fórmulas de estimación del peso	16

Lista de Símbolos y abreviaturas

APLS:	Advanced Pediatric Life Support
EEUU:	Estados Unidos de América
ENSIN:	Encuesta Nacional de la Situación Nutricional de Colombia
IC 95%:	Intervalos de confianza del 95%
IMC:	Índice de Masa Corporal
kg:	Kilogramos
OMS:	Organización Mundial de la Salud
PAWPER:	Paediatric Advanced Weight-Prediction in the Emergency Room
PE:	Porcentaje de Error
R ² :	Coefficiente de determinación
Sisben:	Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para Programas Sociales
ρ c:	Coefficiente de concordancia y correlación de Lin
n:	Número absoluto de sujetos
%:	Porcentaje

Introducción

El peso es una variable antropométrica fundamental en la valoración del crecimiento de todo paciente pediátrico; presenta una gran variabilidad por aspectos biológicos, sociodemográficos y por las metodologías usadas en su medición. Es un dato clave para realizar diagnósticos nutricionales y para definir el uso de medicamentos o dispositivos médicos en el ámbito clínico.

Para su determinación se usan básculas que deben cumplir con los requerimientos técnicos para una apropiada medición, para el caso colombiano la norma técnica que reglamenta dichos aspectos es la Resolución 2121 del Ministerio de Protección Social¹-ahora Ministerio de Salud y Protección Social-, que recientemente se ajustó por la Resolución 2465 de 2016 del mismo ministerio², ambas normatividades establecen el uso de los indicadores antropométricos para menores de 18 años de acuerdo a los parámetros de crecimiento validados por la Organización Mundial de la Salud OMS en el año 2007.

Hay escenarios de la práctica médica donde se hace difícil, erróneo o imposible la medición directa del peso de niños y adolescentes, por ejemplo en situaciones de atención de urgencias de pacientes politraumatizados o en condiciones críticas que impiden su movilización³, en la atención prehospitalaria -sistemas de atención domiciliaria o en vía pública- donde no se cuenta con los instrumentos necesarios ni el ambiente apropiado para la valoración antropométrica, o en regiones apartadas donde no hay la disponibilidad de herramientas adecuadas para la medición del peso y talla en niños.

Ante esta situación se requieren métodos alternativos para la estimación del peso para la toma de decisiones por parte de los profesionales de la salud que atienden niños y adolescentes. Dentro de estas opciones se cuenta con métodos a partir de la observación de los padres o los trabajadores de la salud⁴, metodologías basadas en la longitud como la cinta de Broselow^{5,6} o la combinación de la longitud-talla y otras variables antropométricas como la circunferencia del tercio medio del brazo como lo hace la cinta PAWPER⁷; o la longitud humeral como en el método Mercy⁸. También se cuenta con fórmulas matemáticas que utilizan la edad en años derivadas del análisis estadístico por regresión lineal y que han sido validadas en poblaciones generalmente de países desarrollados, siendo una forma práctica y rápida de estimación del peso.

Para asegurar una buena estimación del peso, dichas ecuaciones idealmente deben cumplir algunas características⁴:

- Ser validadas en muestras de sujetos pediátricos que sean representativas de la población general.
- Ser de fácil aplicación y rápida obtención sin requerir métodos de cálculo avanzado, pero con fácil recordación que permita su reproducibilidad.
- Ser lo más cercanas posible al peso medido para asegurar exactitud y precisión.
- Estar disponibles para ser usadas en escenarios extra-hospitalarios.

Existen cerca de 21 ecuaciones reportadas en la literatura⁴, dentro de estas se destacan el método de Argall *et al.*⁹ y Luscombe-Owens¹⁰ validadas en niños del Reino Unido; la fórmula del *Advanced Pediatric Life Support APLS*¹¹ y Leffler¹²; Theron¹³, Shann¹⁴ y Best Guess¹⁵ que han sido evaluadas en población de Oceanía. En la **Tabla 1** se muestra la expresión matemática de cada ecuación.

Tabla 1. Fórmulas usadas para la estimación del peso (kg) usando la edad en años

Nombre	Ecuación	Edad de aplicación (años)
<i>Luscombe</i>	$(\text{edad} \times 3) + 7$	1 – 10
<i>Shann</i>	$(\text{edad} \times 2) + 9$	1 – 9
<i>Theron</i>	$Exp [(0,17 \times \text{edad}) + 2,20]$	1 – 10
<i>Argall</i>	$(\text{edad} + 2) \times 3$	1 – 10
<i>Best Guess 1</i>	$(2 \times \text{edad}) + 10$	1 – 5
<i>Best Guess 2</i>	$4 \times \text{edad}$	5 – 14
<i>Leffler</i>	$(\text{edad} \times 2) + 10$	1 – 10
<i>APLS</i>	$(\text{edad} + 4) \times 2$	1 – 10

Con base en estas precisiones y ante la ausencia de trabajos similares en Colombia, se plantea la necesidad de evaluar la correlación y concordancia entre el peso medido en báscula y el peso estimado a partir de la edad de siete fórmulas diseñadas previamente en sujetos entre los 2 y 15 años de edad procedentes de dos ciudades colombianas, Bogotá e Ibagué; con la finalidad de definir si el uso de esta metodología es apropiada o no en algunos escenarios de la práctica pediátrica como la atención prehospitalaria o en pacientes en condiciones críticas que no permitan medir directamente su peso.

1. Metodología

1.1 Selección y descripción de participantes

Se eligieron sujetos de sexo masculino y femenino entre los meses de enero a noviembre de 2015, la muestra se recolectó por muestreo continuo de pacientes ubicados en dos centros hospitalarios de Bogotá, uno de ellos la Fundación Hospital de La Misericordia en los servicios de urgencias y hospitalización y otro grupo atendido en una institución privada del régimen especial en salud. Estas instituciones tienen convenio docente-asistencial con la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia. De igual forma se recolectaron datos de sujetos de la comunidad que vive en el barrio El Jordán de la ciudad de Ibagué.

Dentro de los criterios de inclusión se consideró todo sujeto que tuviera entre 2 y 15 años de edad, previo consentimiento informado y aceptación verbal por parte del representante legal del niño, niña o adolescente. Se excluyeron los pacientes cuyos padres o acudientes no dieron permiso para la participación, así como los sujetos que presentaran patologías neurológicas, usuarios de elementos ortopédicos o personas en condición de inmovilidad que impidiera su autonomía física para realizar actividades de la vida diaria y que no pudieran lograr la bipedestación. En cuanto a los pacientes originarios del medio hospitalario se excluyeron aquellos que se encontraran en los servicios de cuidado intensivo, cuidado intermedio y salas de cirugía.

1.2 Información técnica

Se adelantó un estudio de concordancia y correlación con recolección de pacientes por muestreo continuo para comparar el peso medido por método directo y el uso de siete fórmulas matemáticas descritas en la literatura para estimar el peso a partir de la edad en años como se resume en la **Tabla 1**. Fórmulas usadas para la estimación del peso (kg) usando la edad en años.

Se diseñó un formato en Microsoft Excel 365® para la recolección de datos sobre identificación de los pacientes, aspectos demográficos, antecedentes médicos y quirúrgicos, motivo de consulta u hospitalización -si aplicaba-, así como el registro de la edad, peso, talla y cálculo del índice de masa corporal IMC. Para la toma de los datos antropométricos se utilizó una báscula digital Kenwell® con un error estimado de 100 gramos por medida y un tallímetro marca Seca 206® fijado a una pared. Cada paciente se ubicó de pie sin ningún tipo de calzado y únicamente con ropa interior.

Tanto para el peso como para la talla se realizaron 3 mediciones en cada sujeto y se anotó el valor promedio de cada medición para ser usado en el documento de registro de datos. En el formato de Excel® se creó la fórmula matemática que calculaba el peso estimado para cada ecuación teniendo como variable la edad en años.

Se usaron los parámetros de la OMS¹⁸ talla/edad y peso/talla para definir el diagnóstico nutricional de normalidad, desnutrición, sobrepeso y obesidad usando la aplicación para iOS 6 STAT GrowthCharts™ WHO Lite versión 1.3 para iPhone (Austin Physician Productivity LLC, EEUU); se convirtió cada valor de desviación estándar en una variable categórica de acuerdo a los lineamientos de la Resolución 2465 de 2016².

1.3 Métodos estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas para Windows 10 MedCalc® versión 16.8.4 (MedCalc Software, Bélgica) y Stata 8® (StataCorp LP, EEUU). Para la variable peso medido se utilizó el método de Shapiro-Francia para examinar la distribución normal de la muestra¹⁹. En cada una de las variables evaluadas se realizaron medidas de tendencia central.

Dado que cada una de las ecuaciones usadas para la estimación del peso se basa en el supuesto de considerar un comportamiento lineal entre el peso y la edad, se utilizaron métodos estadísticos de regresión lineal para valorar la correlación. Se usó el coeficiente de Pearson, el coeficiente de determinación R^2 para cada recta en las líneas de regresión²⁰ y el coeficiente de concordancia y correlación de Lin (ρ_c)²¹. Para interpretar el significado del coeficiente ρ_c se utilizó la escala de fuerza de concordancia de McBride²² que define una pobre correlación un valor $\rho_c < 0,90$, moderada correlación entre $0,90-0,95$, substancial entre $0,95-0,99$ y correlación casi perfecta $>0,99$.

Para establecer la concordancia entre el peso medido y el estimado por cada ecuación se utilizó el método de Bland-Altman²³, y se usó la precisión de cada fórmula expresada como kilogramos de diferencia respecto al peso medido, datos reportados con sus intervalos de confianza del 95%. También se utilizó el porcentaje de error (PE) en la precisión para cada método de estimación del peso usando la fórmula $PE = [(\text{peso calculado} - \text{peso medido}) / \text{peso medido}] \times 100$, cada valor incluyó sus intervalos de confianza del 95%. Adicionalmente se generaron dos nuevas ecuaciones a partir de regresiones lineales buscando mejorar la correlación en la estimación del peso en la muestra estudiada.

2. Aspectos éticos

El trabajo se clasifica dentro de la categoría de *investigación sin riesgo* de acuerdo a la Resolución 8430 de octubre de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia²⁴. No hay ningún conflicto de intereses por parte del autor ni del director del trabajo.

3. Resultados

Un total de 259 sujetos se seleccionaron durante el desarrollo del estudio. Se realizó la prueba de Shapiro-Francia obteniendo un valor del estadístico W de 0,88 con una probabilidad asociada $p=0,0001$; mostrando que no hay una distribución normal en la muestra. Se registraron 131 hombres (50,6%) y 128 mujeres (49,4%) sin mostrar diferencias entre ambos sexos. La mayor cantidad de sujetos estaban en el rango de edades entre los 2 y 7 años, dado que son las edades predominantes en la atención de los centros hospitalarios usados en el estudio. Todos los pacientes estaban escolarizados y procedían principalmente de la ciudad de Bogotá (73,8%), seguido del departamento del Tolima (18,5%).

La principal fuente de sujetos se recolectó en el ámbito hospitalario con 115 pacientes (44,4%), en la consulta externa 98 niños (37,8%) y finalmente de la comunidad 46 sujetos (17,8%). Más de tres cuartas partes de la muestra eran de los estratos socioeconómicos 2 y 3, y únicamente se tuvo un sujeto proveniente del estrato 5, no se obtuvieron pacientes del estrato 6 – se usaron los niveles socioeconómicos del 1 al 6 de acuerdo a la escala de estratificación para Colombia que utiliza el Sisben²⁵.

Teniendo en cuenta los parámetros de antropometría de la OMS, 175 niños tuvieron talla para la edad normal, 59 estuvieron en criterio de riesgo de baja talla y 25 sujetos tenían baja talla. Al tomar la relación de peso/talla para los menores de 5 años y el IMC/edad para los mayores de 5 años como criterios para definir el estado nutricional de la muestra analizada, se encontró que la gran mayoría de los niños (59,5%) estaban en rango de normalidad, seguido de sujetos en sobrepeso (15,4%) y cerca del 12% estaban en riesgo de desnutrición. En la **Tabla 2** se resumen los aspectos demográficos más relevantes.

Tabla 2. Descripción de variables demográficas y nutricionales

Variables	Descripción	n	%
Sexo	Hombres	131	50,58
	Mujeres	128	49,42
Escolaridad	Primaria	106	40,93
	Preescolar	95	36,68
	Secundaria	58	22,39
Procedencia	Bogotá	191	73,75
	Tolima	48	18,53
	Cundinamarca	13	5,02
	Meta	2	0,77
	Boyacá	1	0,39
	Casanare	1	0,39
	Huila	1	0,39
	Putumayo	1	0,39
Origen de la muestra	Hospital	115	44,40
	Consulta Externa	98	37,84
	Comunidad	46	17,76
Estrato socioeconómico	2	101	39
	3	95	36,68
	1	36	13,90
	4	26	10,04
	5	1	0,39
Talla/Edad	Normal	175	67,57
	Riesgo baja talla	59	22,78
	Baja talla	25	9,65
IMC/edad o Peso/Talla	Normal	154	59,46
	Sobrepeso	40	15,44
	Riesgo de desnutrición	31	11,97
	Obesidad moderada	22	8,49
	Desnutrición moderada	9	3,47
	Desnutrición severa	2	0,77
	Obesidad severa	1	0,39

En cuanto a las variables antropométricas, el peso promedio de la población fue 27,1 kg con un rango entre los 8,1 y 77,5 kg. En el caso de los hombres el peso promedio fue de 25,4 kg y en las mujeres de 28,9 kg. Tres cuartas partes de la muestra tuvieron pesos por debajo de los 35 kg, predominantemente en los hombres, asociado a que el 75% de la población tenía 10 años o menos. Más detalles sobre los valores de tendencia central de estas variables se encuentran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Medidas de tendencia central de la edad y de las mediciones antropométricas

Variable	Sexo	Promedio	Valores mínimo y máximo	Rangos intercuartiles			
				P25	P50	P75	P99
Edad (años)	General	7,2	2 – 15	4	7	10	14
	Mujeres	7,7	2 – 15	5	7	11,5	15
	Hombres	6,7	2 – 14	3	6	9	14
Peso (kg)	General	27,1	8,1 – 77,5	15,5	22,4	35	72
	Mujeres	28,9	8,1 – 72	17,1	24	39,3	72
	Hombres	25,4	10,1 – 77,5	15	21,5	32	72,3
Talla (cm)	General	121	78 – 174	102	119	142	171
	Mujeres	124	83 - 164	106	121	144	164
	Hombres	119	78 – 174	98	116	140	171

Respecto a la estimación de los coeficientes de correlación de las siete fórmulas evaluadas, como se ve en la **Tabla 4**, ninguna de las estimaciones tuvo valores mayores a 0,9. Sin embargo la fórmula que mejor equilibrio presentó en los diferentes coeficientes fue la ecuación de Argall, seguido de la fórmula de Luscombe. La más baja correlación se vio en la fórmula de Best Guess para pacientes entre 1 a 5 años; aunque el mejor coeficiente de determinación R^2 lo reportó la ecuación de Best Guess entre los 5 y 10 años de edad. No se evidenciaron grandes variaciones en el coeficiente de Pearson entre las fórmulas a excepción del método de Best Guess.

- 12 Fórmulas para la estimación rápida del peso a partir de la edad y su correlación con el peso medido en una población pediátrica de Colombia entre los 2 y 15 años

Tabla 4. Coeficientes de correlación de cada ecuación evaluada

Fórmula	Pearson	Lin pc	Lin pc IC 95%	R²
<i>Luscombe</i>	0,8923	0,8633	0,8330 – 0,8884	0,7962
<i>Shann</i>	0,8923	0,7006	0,6620 – 0,7355	0,7962
<i>Theron</i>	0,8538	0,7145	0,6565 – 0,7640	0,7962
<i>Argall</i>	0,8923	0,8679	0,8385 – 0,8922	0,7962
<i>Leffler</i>	0,8923	0,7166	0,6806 – 0,7492	0,7962
<i>APLS</i>	0,8923	0,6807	0,6395 – 0,7180	0,7962
<i>Best Guess 1</i>	0,6770	0,5564	0,4388 – 0,6552	0,7962
<i>Best Guess 2</i>	0,8519	0,8156	0,7642 – 0,8567	0,8119

Frente a la concordancia de cada fórmula respecto al peso medido, en la **Tabla 5** se sintetizan los valores de precisión y porcentaje de error con sus respectivos intervalos de confianza. Un valor negativo indica la tendencia a subestimar el peso y un valor positivo la tendencia a sobreestimar la estimación respecto al peso medido. Se evidencia que la fórmula de Argall en promedio tiene la mejor precisión del peso, apenas subestimando esta variable antropométrica en 430 gramos.

Sin embargo, el más bajo porcentaje de error en la estimación del peso lo reporta la fórmula de Leffler con una variación del 2,6% frente al peso medido en la muestra seleccionada. Las fórmulas que difieren considerablemente del peso medido son las de Theron (subestimando el peso en un 18,1%), APLS (sobrestimando el peso en un 12,1%) y ambas fórmulas de Best Guess con un error del 11,1% y 12,8% respectivamente para subestimar el peso calculado frente al peso medido directamente. La fórmula de Shann muestra una tendencia a sobreestimar el peso en 3,8 kg.

Tabla 5. Diferencias en la estimación del peso para cada fórmula según la precisión y el porcentaje de error frente al peso medido

Formula	Precisión (kg)	IC 95%	PE (%)	IC 95%
<i>Luscombe</i>	-1,43	-2,26 a -0,59	-9,40	-11,83 a -6,95
<i>Shann</i>	3,76	2,71 a 4,8	7,23	4,45 a 10,01
<i>Theron</i>	-4,83	-5,70 a -3,96	- 18,11	-20,96 a -15,25
<i>Argall</i>	-0,43	-1,26 a 0,41	-5,14	-7,57 a -2,71
<i>Leffler</i>	2,76	1,71 a 3,80	2,61	-0,26 a 5,50
<i>APLS</i>	4,76	3,71 a 5,80	12,10	9,43 a 14,77
<i>Best Guess 1</i>	-1,58	-2,06 a -1,11	-11,13	-14,07 a -8,18
<i>Best Guess 2</i>	-3,51	-4,60 a -2,41	-12,80	-15,69 a -9,89

Dado que ninguna de las fórmulas estudiadas reportó valores óptimos de concordancia según los criterios de McBride²², se propuso generar un método alternativo para mejorar la estimación del peso con los datos obtenidos de los pacientes recolectados. Es así como por regresión lineal se generaron dos fórmulas, una basada en años y otra en meses. La fórmula expresada en meses buscaba una mayor precisión en la estimación del peso. Las ecuaciones propuestas se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Fórmulas propuestas derivadas de los datos de la muestra recolectada (Fórmulas de Aragón)

Nombre	Unidades de la edad	Fórmula derivada de regresión lineal	Versión abreviada
Aragón 1	Años	$(\text{Edad} \times 3,38) + 2,81$	$(\text{Edad} \times 3) + 3$
Aragón 2	Meses	$\{[(\text{Edad años} \times 12) + \text{Meses excedentes}] \times 0,27\} + 1,38$	No aplica

La fórmula propuesta en este estudio, Aragón 1, basada en la unidad de medida de la edad en años tuvo un coeficiente de Lin de 0,89 donde sus IC95% alcanzan a sobrepasar el valor de 0,90. Adicionalmente esta fórmula muestra una precisión de 20 gramos en promedio respecto al peso medido y un porcentaje de error del 0,006% que es bajo. En

14 Fórmulas para la estimación rápida del peso a partir de la edad y su correlación con el peso medido en una población pediátrica de Colombia entre los 2 y 15 años

cuanto a la fórmula de Aragón 2 (basada en la edad en meses) se muestra un mejor rendimiento en el coeficiente de Lin y en el valor del R^2 , aunque de baja magnitud, como se puede apreciar en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Correlación y concordancia de las fórmulas de Aragón

Fórmula	Pearson	Lin pc	Lin pc IC 95%	R^2	Precisión (kg)	Precisión IC 95%	PE (%)	PE IC 95%
Aragón 1	0,89	0,886	0,85 a 0,91	0,79	0,02	-0,79 a 0,83	0,006	-2,64 a 2,65
Aragón 2	0,89	0,888	0,86 a 0,91	0,80	-1,75	-2,56 a -0,94	-5,81	-8,48 a -3,14

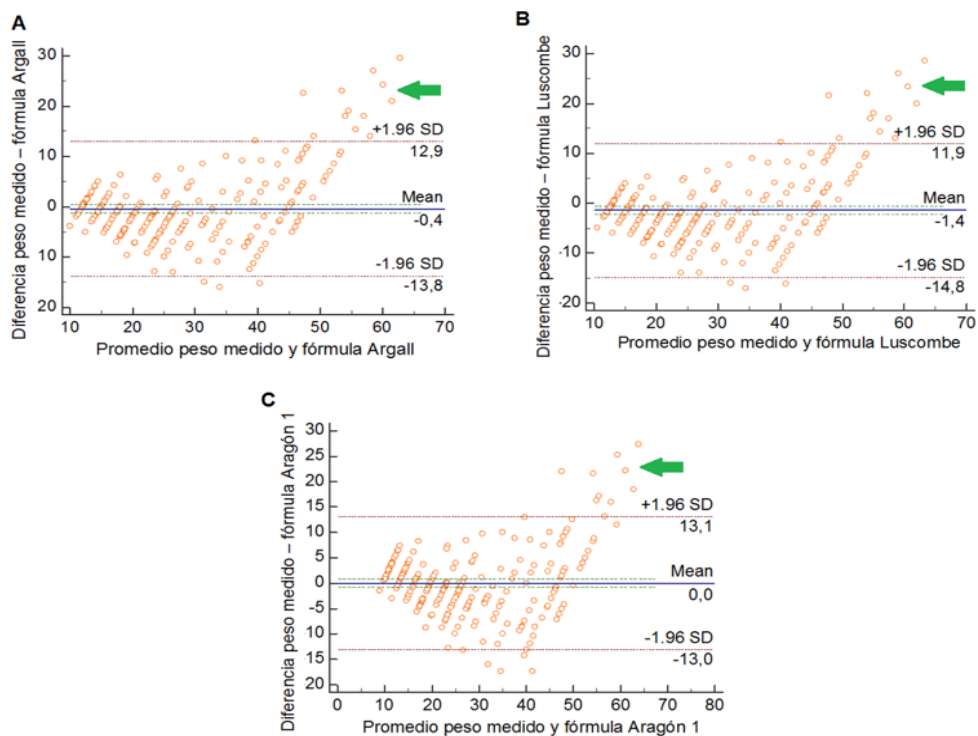


Figura 1. Método de Bland-Altman para valorar la concordancia del peso medido y las fórmulas de Argall (A), Luscombe (B) y Aragón 1 (C).

En la **Figura 1** se resume la concordancia en la estimación de las fórmulas de Argall (A), Luscombe (B) y Aragón 1 (C) frente al peso medido. Se ve en cada una de las gráficas que los pesos por encima de los 50 kg tienden a sobrepasar la desviación estándar +1,96 (percentil 95) siendo datos con mayor dispersión y menor concordancia (como lo señalan las flechas verdes), estos datos corresponden en su mayoría a los pacientes por encima de los 10 años de edad.

Respecto a las diferencias en la estimación del peso según el diagnóstico nutricional basado en los parámetros de la OMS, se encuentra que las fórmulas que mejor permiten diferenciar cada parámetro son las ecuaciones de Argall y Aragón 1, en especial en los grupos en estado normal y sobrepeso; sin embargo, no logran predecir adecuadamente el peso en los niños con obesidad y desnutrición moderada y severa como se ve en las gráficas de la **Figura 2**.

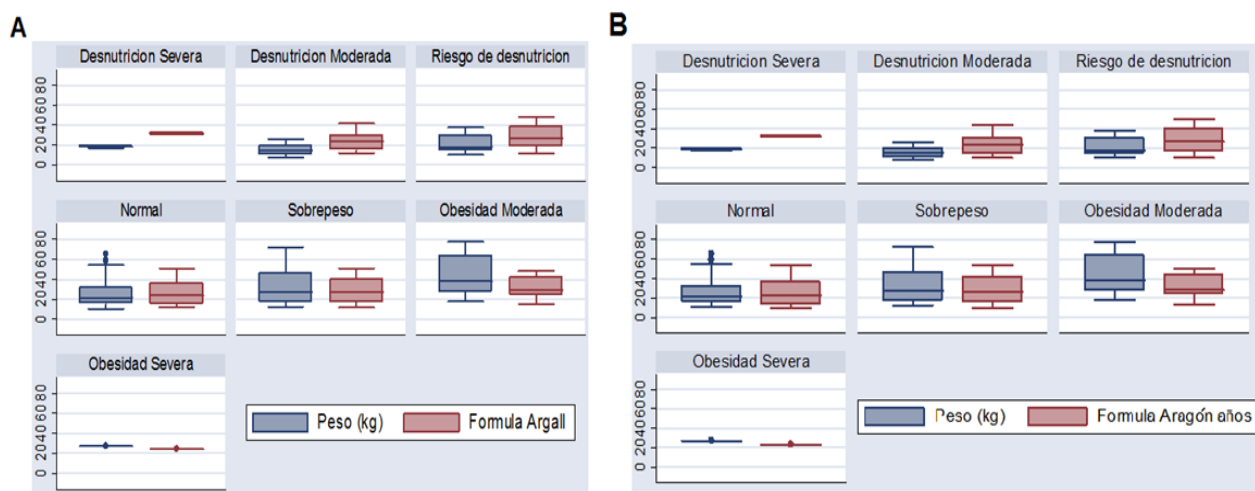


Figura 2. Categorías nutricionales según el uso de las fórmulas de Argall (A) y Aragón 1 (B) respecto a su comparación con el peso medido

Se resalta que la fórmula de Shann incrementa la cantidad de pacientes con el diagnóstico de desnutrición frente a los verdaderos sujetos clasificados con algún grado de desnutrición dentro de la muestra. Contrario sucede con las fórmulas de Luscombe, Theron

y Best Guess 2 que tienen la tendencia a aumentar la cantidad de pacientes en rango de obesidad moderada y severa. Estos datos se sintetizan en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Categorías nutricionales según el uso del peso medido y de cada una de las fórmulas de estimación del peso

Nombre n (%)	Desnutrición severa	Desnutrición moderada	Riesgo desnutrición	Normal	Sobrepeso	Obesidad moderada	Obesidad severa
Peso medido	2 (0,77)	9 (3,47)	31 (11,97)	154 (59,46)	40 (15,44)	22 (8,49)	1 (0,39)
Luscombe	---	---	11 (4,25)	104 (40,15)	95 (36,68)	40 (15,44)	9 (3,47)
Shann	13 (5,02)	27 (10,42)	44 (16,99)	127 (49,02)	43 (16,60)	5 (1,93)	---
Theron	---	---	8 (4,10)	40 (24,62)	57 (29,23)	73 (37,44)	17 (8,72)
Argall	---	7 (2,70)	14 (5,41)	128 (49,42)	81 (31,27)	27 (10,42)	2 (0,77)
Leffler	11 (4,25)	22 (8,49)	27 (10,42)	119 (45,95)	50 (19,31)	27 (10,42)	3 (1,16)
APLS	26 (10,04)	35 (13,51)	55 (21,24)	123 (47,49)	19 (7,34)	1 (0,39)	---
Best Guess 1	---	---	2 (1,90)	40 (38,10)	38 (36,19)	23 (21,90)	2 (1,90)
Best Guess 2	---	---	---	62 (34,07)	83 (45,60)	34 (18,68)	3 (1,65)

Valorando los diferentes ítems presentados, se identifica que las fórmulas con un desempeño más destacado y aceptable en la estimación del peso para la población estudiada son Argall y Leffler en su orden. Se resalta de igual forma la leve mejoría en la correlación del peso medido que presentan las fórmulas de Aragón 1 y Aragón 2.

4. Discusión

Este trabajo busca explorar la pertinencia del uso de algunas fórmulas validadas en la literatura internacional para la estimación del peso a partir de la edad como estrategia alternativa para calcular el peso de sujetos entre los 2 y 15 años de edad. En Colombia no hay registro de estudios previos que hayan utilizado estas fórmulas para definir si es una estrategia apropiada o inadecuada en la estimación del peso en la población pediátrica nacional. Por lo tanto, el desarrollo de este estudio pretende iniciar la aproximación a este problema.

Desde el punto de vista estadístico se encuentra que la muestra seleccionada no presentó una distribución normal debido a que se realizó una selección de los sujetos por muestreo continuo de pacientes derivados de los tres lugares elegidos para el estudio, aspecto que limita la generalización de los resultados a poblaciones similares.

Debido al tipo de población que se atiende en el Hospital de La Misericordia y al barrio seleccionado en la ciudad de Ibagué donde se tomaron los niños procedentes de la comunidad, se explica el predominio de niños provenientes de estratos socioeconómicos bajos, sin embargo, los resultados arrojados del estudio no tienen la fuerza para lograr ser extrapolados a niños con similares condiciones socioeconómicas.

No se discriminaron las proporciones de niños con desnutrición aguda, crónica y global, pero se encontró que el 16,2% de los niños tenían algún grado de compromiso nutricional recordando que una importante proporción de los niños evaluados se encontraban en el ámbito hospitalario, configurando un sesgo de selección.

Si se contrasta este resultado con los datos de Encuesta ENSIN 2010²⁶, llama la atención una similitud frente al 13,2% de niños y niñas menores de 5 años con desnutrición crónica y un 3,4% con desnutrición global. Sin embargo, hay una mayor cantidad de sujetos con sobrepeso y obesidad en el estudio frente a lo reportado por la ENSIN 2010 a nivel nacional (24,7% vs 17,5%), pero si se analiza lo que se registra para los niños entre 5 y 17 años del estrato 3 de la escala del Sisben no es muy alejado del valor reportado por este estudio (21,1%).

Respecto a la valoración de la correlación del peso medido -tomado en este trabajo como el patrón de referencia- y su comparación con la estimación matemática de cada fórmula, se encuentra que ninguna fórmula logra una buena fuerza de concordancia según los criterios de McBride ya que los coeficientes de Lin son menores de 0,9. Pero al analizar los diferentes coeficientes reportados en los resultados hay un mejor desempeño de la fórmula de Argall con una probabilidad de estimación del peso aproximada entre el 80 al 89%, resultado que difiere de otros estudios realizados en India y Australia donde esta fórmula ha mostrado gran disparidad en los resultados del peso estimado^{27,28}.

Se resalta que el trabajo original de Argall *et al.*⁹ tiene similitudes con el tamaño de la población recolectada para el presente estudio (300 sujetos vs 259 sujetos, respectivamente), aunque Argall restringió la población a niños entre 1-10 años. Adicionalmente dicho trabajo reportó una precisión en la estimación del peso de -0,52 kg (IC 95% -0,01 a -1,05) frente a una precisión de -0,43 kg (IC 95% -1,26 a 0,41) en el presente estudio realizado en niños colombianos. Dados estos hallazgos se considera que la fórmula con mejor aproximación a la estimación del peso en los niños evaluados es la ecuación de Argall.

Al igual que los trabajos de Nguyen *et al.*²⁷ y Black *et al.*²⁹, la fórmula de Argall tiene una tendencia a mostrar una mayor diferencia entre el peso medido vs el peso estimado a medida que aumenta la edad en los sujetos, lo que limita el grado de correlación entre la fórmula y el peso real. Según los resultados del presente estudio se sugiere usar esta fórmula en niños menores de 10 años tal y como se validó en el trabajo de Argall *et al.*⁹.

Las demás fórmulas muestran correlaciones y concordancias diferentes, tal es el caso de la ecuación de Luscombe que tiene el segundo mejor coeficiente de Lin (0,8633) pero que muestra un porcentaje de error en la estimación de -9,4% con tendencia a la subestimación del peso frente al dato medido directamente. En términos generales las fórmulas que sobredimensionan el valor del peso, en orden ascendente, son Leffler, Shann y APLS; frente a las fórmulas que subestiman el peso se encuentran Luscombe, Best Guess 1, Best Guess 2 y Theron.

Se encuentra que estas variaciones en la estimación del peso influyen en la forma en que se clasificaría nutricionalmente a un paciente, por tal razón si se tiene un paciente en condiciones de desnutrición u obesidad, el rendimiento predictivo de estas fórmulas va a ser limitado, observación concordante con los hallazgos de Ackwerh *et al.*³⁰ y Young *et al.*⁴.

Anteriores estudios dan una mejor valoración al uso de las fórmulas de Luscombe y Best Guess -en especial para poblaciones de países desarrollados^{3,4}-, para el caso de los sujetos estudiados en Bogotá e Ibagué, no hay la concordancia suficiente para recomendar su uso rutinario. Se requiere realizar más estudios con mejor calidad metodológica y con una población más grande para definir si el uso de estas fórmulas en sujetos colombianos es o no indicado.

En un intento por mejorar la correlación en la estimación del peso, se diseñó una fórmula basada en la edad en años, denominada Aragón 1, con un aceptable rendimiento en la fuerza de correlación, siendo de fácil recordación y aplicación. Sin embargo, el uso de la fórmula Aragón 1 debe ser estudiada en otras poblaciones y se deben hacer estudios para su validación antes ser considerada su utilidad clínica. No se consideró pragmático el uso de la fórmula Aragón 2 basada en la edad en meses ya que su expresión matemática no es de fácil recordación, a pesar de tener una mejor concordancia.

Este trabajo al igual que estudios previos revela algunas de las dificultades al momento de usar ecuaciones lineales para estimar el peso como lo son: la variabilidad étnica y la composición corporal de los niños -en especial los adolescentes-, mayor correlación en la estimación del peso en niños de menores edades frente a sujetos mayores donde se incrementa el error a medida que aumenta la edad y limitaciones en el rendimiento de la correlación frente a otros métodos validados como la cinta de Broselow o la estimación del peso por parte de los padres^{3,30,31}.

Una de las limitaciones en el uso de ecuaciones lineales para estimar el peso de los sujetos radica en no considerar algunas variaciones individuales de los pacientes, por ejemplo, la presencia de cierto tipo de patologías que limita las potencialidades de crecimiento en los niños.

Por otro lado, se identifica en este trabajo un predominio en la cantidad de sujetos menores de 7 años, lo que limita analizar los datos en sujetos de mayores edades. Respecto a los diagnósticos nutricionales estos fueron muy genéricos ya que no estaba dentro de los objetivos del estudio hacer un análisis detallado de las condiciones nutricionales de la población estudiada, se pretendía valorar el impacto del estado nutricional al usar las formulas propuestas para la estimación del peso.

5. Conclusiones

Siempre la medición directa del peso por medio de básculas, siguiendo una adecuada técnica de medición, será el método ideal y exacto para valorar el peso en niños. Sin embargo, en contextos donde sea difícil el uso de esta metodología, se puede recurrir al uso de métodos de rápida estimación que estén previamente validados y evaluados. Las variaciones étnicas, nutricionales, de composición corporal y la edad de los sujetos son factores que afectan la concordancia de diferentes métodos para estimar el peso. En el caso de las fórmulas matemáticas derivadas de regresión lineal, que usan la edad como variable de correlación, se evidencia que su rendimiento es limitado.

Basados en la muestra utilizada en el presente estudio se recomienda de forma tentativa el uso de la fórmula de Argall para la estimación del peso en niños menores de 10 años. No se evidenció una buena correlación de los datos de esta fórmula frente al peso medido en adolescentes. Se propone validar la información encontrada en este trabajo, en especial el uso de la fórmula Aragón 1 en otras poblaciones para verificar si su uso puede ser apropiado o no para la población colombiana.

Bibliografía

1. Gobierno de la República de Colombia, Ministerio de Protección Social. Resolución 2121 de 2010. Disponible en internet: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%202121%20de%202010.pdf. Consultado en junio de 2016.
2. Gobierno de la República de Colombia, Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 2465 de 2016. Disponible en internet: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%202465%20de%202016.pdf. Consultado en junio de 2016.
3. Kelly AM. Estimation of Children`s Weight in Medical Emergencies. In: Preedy VR, editor. Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease. London: Springer Science; 2012. p. 1151-1161. DOI: 10.1007/978-1-4419-1788-1
4. Young KD, Korotzer NC. Weight Estimation Methods in Children: A Systematic Review. *Ann Emerg Med* 2016; 68 (4): 441-451. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2016.02.043.
5. Lubitz DS, Seidel JS, Chameides L, Luten RC, Zaritsky AL, Campbell FW. A rapid method for estimating weight and resuscitation drug dosages from length in the pediatric age group. *Ann Emerg Med* 1988; 17 (6): 576-581.
6. Meguerdichian MJ, Clapper TC. The Broselow tape as an effective medication dosing instrument: a review of the literature. *J Pediatr Nurs* 2012; 27 (4):416-420. DOI: 10.1016/j.pedn.2012.04.009.
7. Wells M, Coovadia A, Kramer E, Goldstein L. The PAWPER tape: a new concept tape-based device that increases the accuracy of weight estimation in children through the inclusion of a modifier based on body habitus. *Resuscitation*. 2013; 84 (2): 227-232. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.05.028.

8. Abdel-Rahman S, Ahlers N, Holmes A, Wright K, Harris A, Weigel J, et al. Validation of an improved pediatric weight estimation strategy. *J Pediatr Pharmacol Ther* 2013; 18 (2): 112-21. DOI: 10.5863/1551-6776-18.2.112.
9. Argall JA, Wright N, Mackway-Jones K, Jackson R. A comparison of two commonly used methods of weight estimation. *Arch Dis Child* 2003; 88 (9):789-790.
10. Luscombe M, Owens B. Weight estimation in resuscitation: is the current formula still valid? *Arch Dis Child* 2007; 92 (5):412-5.
11. Samuels M, Wieteska S, editors. *Advanced Paediatric Life Support: The Practical Approach*. 5th ed. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2011. DOI: 10.1002/9781118369784
12. Leffler S, Hayes M. Analysis of parental estimates of children's weights in the ED. *Ann Emerg Med* 1997; 30 (2): 167-170.
13. Theron L, Adams A, Jansen K, Robinson E. Emergency weight estimation in Pacific Island and Maori children who are large-for-age. *Emerg Med Australas* 2005;17 (3):238-243.
14. Hazell W. *Emergency Medicine at Your Fingertips*. Auckland, New Zealand: MediMedia; 2000.
15. Tinning K, Acworth J. Make your Best Guess: an updated method for paediatric weight estimation in emergencies. *Emerg Med Australas* 2007;19 (6):528-534.
16. Khouli M, Ortiz MI, Romo-Hernández G, Martínez-Licon D, Stelzner SM. Use of the Broselow tape in a Mexican emergency department. *J Emerg Med* 2015; 48 (6):660-666. DOI: 10.1016/j.jemermed.2014.12.082.
17. Fuentes DR, Mena V, Molina D, González D. Método rápido para estimar el peso corporal en urgencias pediátricas. *Rev Cub Med Int Emerg* 2009; 8 (1): 1438-1443.

18. Organización Mundial de la Salud. Patrones de Crecimiento del Niño de la OMS: Curso de Capacitación sobre la Evaluación del Crecimiento del Niño. Módulo C: Interpretando los Indicadores de Crecimiento. Año 2008. Disponible en internet: <http://www.who.int/childgrowth/training/es/>. Consultado en diciembre de 2015.
19. Shapiro SS, Francia RS. An approximate analysis of variance test for normality. *J Am Stat Assoc* 1972; 67: 215-216.
20. Daniel W. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª edición. México DF: Editorial Limusa Wiley; 2002. p. 400-472.
21. Lin LI-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989; 45: 255-268.
22. McBride GB. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. NIWA Client Report 2005; HAM2005-062.
23. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-10.
24. Gobierno de la República de Colombia, Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993. Disponible en internet: https://www.invima.gov.co/images/pdf/medicamentos/resoluciones/etica_res_8430_1993.pdf. Consultado en junio de 2016.
25. Congreso de la República de Colombia, Secretaria General del Senado. Ley 142 de 1994 de Servicios Públicos Domiciliarios. Disponible en internet: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html. Consultado en agosto de 2016.

26. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. Resumen Ejecutivo de la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia ENSIN 2010. Disponible en internet: <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/Descargas1/Resumenfi.pdf>. Consultado en abril de 2016
27. Nguyen K, Krieser D, Kerr D, Jolley D, Clooney M, Kelly AM. Failed validation of the Argall weight formula for estimating children's weight in an Australian emergency department. *Acad Emerg Med* 2007; 14 (5): 486-8.
28. Verghese A, Vasudevan VK, Lewin S, Indumathi CK, Dinaker C, Rao SD. Do the length-based (Broselow) Tape, APLS, Argall and Nelson's formulae accurately estimate weight of Indian children? *Indian Pediatr* 2006; 43 (10):889-94.
29. Black K, Barnett P, Wolfe R, Young S. Are methods used to estimate weight in children accurate? *Emerg Med (Fremantle)* 2002; 14 (2): 160-5.
30. Ackwerh R, Lehrian L, Nafiu OO. Assessing the Accuracy of Common Pediatric Age-Based Weight Estimation Formulae. *Anesth Analg* 2014; 118:1027-33. DOI: 10.1213/ANE.000000000000163.
31. Park J, Kwak YH, Kim DK, Jung JY, Lee JH, Jang HY, et al. A new age-based formula for estimating weight of Korean children. *Resuscitation* 2012; 83: 1129-1134. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.01.023.