

RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA CORPORAL Y FUNCIÓN EN JUGADORES DE FÚTBOL

Trabajo de Grado para Optar al Título de Antropólogo

Autor

JOHMAN ESNEIDER ARDILA TEJADA

Asesor

JAVIER ROSIQUE GRACIA

Dr. Ciencias Biológicas Antropología Física

Universidad de Antioquia

Medellín, 2018

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional

A Isabel por su sonrisa, su mirada tierna durante estos años

Agradecimientos

A las personas que hicieron posible este trabajo:

*Al profe **Javier Rosique Gracia** por su paciencia y orientación, a los entrenadores de las divisiones inferiores del Envigado Fútbol Club: **Juan Gabriel Sepúlveda Urrego** y **Rubén Darío Bedoya Durango** por su apoyo y disposición*

*A mi compañeros **Ángel** por su colaboración*

*A **Melisa** y **Laura** por su compañía y su auxilio*

*A **Isabel** por su apoyo incondicional, sin el cual este trabajo hubiera perdido incontables momentos gratos*

Resumen

Se realizó un estudio con carácter exploratorio, cuyo objetivo era encontrar relaciones entre la estructura corporal y algunas funciones biológicas de jugadores de fútbol de las divisiones inferiores del envigado fútbol club, con edades comprendidas entre los 12 y los 19 años.

Se utilizó el protocolo ISAK nivel II para la toma de medidas antropológicas, adicionalmente se tomaron medidas de los dedos dos y cuatro de ambas manos para estudiar el coeficiente digital y su relación con la estructura corporal. Se estimaron las tasas metabólicas utilizando la composición corporal y el consumo de oxígeno.

Se encontró correlaciones entre los índices corporales y el fraccionamiento de masas, entre el somatotipo y los coeficientes digitales y el consumo de oxígeno, a su vez se exploró las correlaciones entre composición corporal y estructura corporal con el consumo de oxígeno

Se evidencio que existe una relación entre el componente mesomorfia de la estructura corporal y el coeficiente digital. Adicionalmente se puede afirmar que el procedimiento para relacionar estructura y función es adecuado para el seguimiento del desempeño en el deporte y para la selección de jóvenes talentos deportivos.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Tabla de contenido.....	5
Índice de tablas.....	9
Índice de Figuras.....	13
1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Estructura corporal y función.....	18
1.2 Cineantropometría y deporte.....	19
1.2.1 Selección de talentos deportivos.....	20
1.3 Gasto energético.....	22
1.3.1 Gasto energético y nivel de actividad física.....	23
1.4 Coeficiente digital.....	24
1.5 Estudios en futbolistas.....	26
1.5.1 Estudios antropométricos.....	26
1.5.2 Estudios antropométricos y funcionales en futbolistas jóvenes.....	27
1.6 Divisiones inferiores del Envigado Fútbol Club.....	30
2 OBJETIVOS.....	32
2.1 Objetivos específicos.....	32
3 BASES TEÓRICAS.....	33
3.1 Sistema de similitud en Antropometría.....	33
3.1.1 Ajuste de variables antropométricas.....	35
3.1.2 Ajuste de variables funcionales.....	36
3.1.3 Modelo de referencia unisexuado <i>Phantom</i>	37
3.2 Composición corporal.....	39
3.2.1 Estimación de la masa libre de grasa.....	41
3.2.2 Fraccionamiento de la masa corporal en cinco componentes.....	42

3.3	Índices Corporales (IMC, IFC e IP).....	45
3.4	Somatotipo.....	47
3.4.1	Método de análisis.....	49
3.5	Metabolismo y gasto energético.....	53
3.5.1	La energía en los seres vivos.....	53
3.5.2	Valor calórico de los alimentos.....	54
3.5.3	Valor calórico del oxígeno.....	56
3.5.4	Metabolismo Basal.....	56
3.5.5	Tasa de metabolismo en reposo.....	57
3.5.6	La actividad física.....	57
3.5.7	Actividad física y consumo de oxígeno.....	58
3.6	Medición del Gasto Energético.....	59
3.6.1	Tasa de metabolismo basal (TMB) y tasa de metabolismo en reposo (TMR).....	59
3.6.2	Medida del Metabolismo Basal por medio de calorimetría indirecta.....	61
3.6.3	Acumulador de pulso.....	62
3.6.4	Equivalente respiratorio.....	63
3.7	Estimación de tasas metabólicas por medio de la técnica antropométrica.....	63
3.7.1	Tamaño corporal y tasa metabólica basal.....	63
3.7.2	Tasa metabólica en reposo y tejido magro.....	67
3.8	Gasto energético.....	68
3.8.1	Actividad física y el equivalente metabólico (MET).....	68
3.8.2	Definición y cálculo de METs.....	70
3.8.3	Cálculo de gasto energético con uso de encuesta de 24 horas.....	74
3.8.4	Gasto energético en perspectiva ergonómica y de salud ocupacional.....	75
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	79
4.1	Características y selección de la muestra.....	79
4.2	Variables incluidas en el estudio.....	81
4.3	Protocolo de medidas antropométricas.....	81
4.3.1	Instrumentos para la recolección de los datos.....	81
4.4	Cálculo de somatotipo.....	81

4.4.1	Construcción de la somatocarta.....	82
4.5	Análisis del somatotipo.....	83
4.5.1	Análisis individual.....	83
4.5.2	Análisis de grupo.....	84
4.6	Protocolo para fraccionamiento de las masas.....	84
a)	Predicción de la masa de piel:.....	86
b)	Predicción de la masa esquelética u ósea:.....	87
c)	Predicción de la masa adiposa.....	88
d)	Predicción de la masa muscular.....	89
e)	Predicción de la masa residual.....	90
f)	Predicción de la masa corporal total.....	91
4.7	Protocolo de test de consumo de oxígeno.....	91
4.7.1	Prueba de 1000m.....	91
4.7.2	Prueba Course-Navette.....	91
4.8	Análisis estadístico.....	92
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	94
5.1	Caracterización antropométrica.....	95
5.1.1	Comparación de pliegues cutáneos.....	99
5.1.2	Índices corporales: IMC, IFC e IP.....	101
5.1.3	Somatotipo.....	104
5.1.4	Composición corporal.....	108
5.2	Resultados de variables de Función.....	113
5.2.1	VO _{2max}	113
5.3	Estimación de tasas metabólicas.....	114
5.4	Asociación entre morfología y las pruebas de funcionalidad.....	120
5.4.1	Correlación de coeficiente digital y rendimiento en prueba de 1000m.....	120
5.5	Asociación entre coeficiente digital y estructura corporal.....	121
5.5.1	Asociación entre Mesomorfia y cociente 2D:4D.....	121
5.6	Correlación índices corporales y fracciones de masa corporal.....	123
6	Recomendaciones, conclusiones, trabajos futuros y ejemplos de aplicación.....	124

6.1	Aplicaciones.....	125
6.1.1	Somatotipo y entrenamiento deportivo´	125
6.1.2	Cálculo de MET y evaluación de gasto energético durante la actividad física 126	
7	Referencias	129
	Anexos.....	135

Índice de tablas

Tabla 1. Datos de estudios antropométricos. En las tres primeras filas los datos reportados por Carter, en la cuarta fila datos de estudios realizados en Argentina, quinta fila selección de fútbol española de 1990 y en la sexta fila datos de la Comunidad Autónoma de Madrid. En la tabla N es el número de jugadores, SAM es dispersión morfogenética del somatotipo y SDI es el índice de dispersión del somatotipo.....	27
Tabla 2. Antropometría y composición corporal de jugadores juveniles del Club Atlético River Plate, 2002 [31].....	28
Tabla 3. Perfiles antropométricos, composición corporal y somatotipos en jugadores de Racing Club. [31]	28
Tabla 4. Valores de la variable consumo de oxígeno (VO ₂ máx) para diferentes equipos nacionales de fútbol profesional, juvenil y amateur [32].	29
Tabla 5. Valores de la variable consumo de oxígeno (VO ₂ máx) para diferentes equipos internacionales de fútbol.[32].....	29
Tabla 6. Relaciones entre la altura y el peso, y distintas dimensiones antropométricas, estimadas por sistemas de similitud geométrica y elástica [41]	35
Tabla 7. Algunos aspectos del rendimiento deportivo y su proporcionalidad con el peso y la estatura [41]......	37
Tabla 8. Valores <i>Phantom</i> para las variables antropométricas (medias y desviaciones estándar).....	39
Tabla 9. Algunos valores para la densidad promedio de la grasa y el tejido libre de grasa de acuerdo a la raza, edad y sexo.	42
Tabla 10. Categorías de los somatotipo, basadas en las 13 áreas de la somatocarta (ver figura 3) [53].....	49
Tabla 11. Gasto calórico por actividad [16]	57
Tabla 12. Ejemplo de estimación de gasto energético de acuerdo a la actividad [16]	58

Tabla 13. Metabolismo basal por área superficial (kJ m ⁻² h ⁻¹) datos de Atman y Dittmer, 1968 reproducidos de [66].....	65
Tabla 14. Compendio de ecuaciones para calcular la superficie corporal. Tomada de [68]	66
Tabla 15. Ecuaciones para estimar la TMR a partir de la masa corporal. *: l, delgado; ob, obeso. † Calculada a partir de la ecuación publicada suponiendo 4,9 Kcal / l de oxígeno consumido y un contenido de potasio de 60 mmol / kg de FFM. ‡: Calculada a partir de la ecuación publicada suponiendo 4,9 Kcal / l de oxígeno consumido y el uso de la FFM medio determinado por tres métodos diferentes. §: No publicado en la referencia citada, que se calcula a partir de los datos. ¶: calculada a partir de la intersección y la pendiente ponderada por tamaños de la muestra, con la omisión de los datos de Dore et al (19). Nota: en el original, en [62], no se presenta ni “categoría”, ni valor de r ² para la “ecuación de medias ponderada” .	68
Tabla 16. Equivalente térmico de O ₂ para el cociente respiratorio no proteico, incluida la energía porcentaje y en gramos derivados de hidratos de carbono y grasa (Reproducido de [73]).	70
Tabla 18. Relación entre los % VO₂, Max y los %RC máximo.....	72
Tabla 19. Ejemplo de cálculo de calorías gastadas por minuto por un individuo de 70 kg y 26 años de edad [74].	72
Tabla 20. Valores de energía gastada por actividades selectas [73].	74
Tabla 21. Ejemplo de una encuesta de recordatorio de actividad 24 horas. Las actividades intensas de corta duración deben ser registradas por separado	75
Tabla 22. Ejemplo de registro de actividad física, para una mujer hipotética de 57 kg [73].	75
Tabla 23. Tabla de frecuencias para el número de integrantes por edad.....	80
Tabla 24. Variables antropométricas de acuerdo al protocolo ISAK para la derivación de masas fraccionales. El perímetro se corrige con el pliegue cutáneo respectivo (ver Ecuación 44).	86
Tabla 25. Abreviaturas	95

Tabla 26. Categoría Infantil. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 15.	96
Tabla 27. Categoría Sub 17. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 21.	97
Tabla 28. Categoría 1 ^º B. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 19.....	98
Tabla 29. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis para determinar si la diferencia entre los grupos es significativa.....	100
Tabla 30. Resultados de Kruskal-Wallis. Para valores de $p < 0,05$ se considera que la diferencia es significativa, para valores de $p < 0,001$ se considera que la diferencia entre grupos es muy significativa. Se resaltan los resultados en los cuales las diferencias son significativas.	102
Tabla 31. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría infantil.....	108
Tabla 32. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría Sub17.	108
Tabla 33. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría 1 ^ª B	109
Tabla 34. Pruebas Kruskal-Wallis para las fracciones corporales.....	109
Tabla 35. Error de la masa predicha por el método de Ross y Kerr respecto a la masa medida	113
Tabla 36. Resumen estadístico de las pruebas de consumo de oxígeno.....	114
Tabla 37. Resultados de la prueba Kruskal-Wallis. Se resalta que no existe diferencias significativas entre las categorías 1 ^ª B y sub 16, pero si entre estas y la infantil.....	115
Tabla 38. Resumen estadístico de los valores de superficie corporal.	116
Tabla 39. Valores de la distribución t utilizados para determinar la significación estadística de las correlaciones.....	120

Tabla 40. Correlación entre coeficiente digital y consumo máximo de oxígeno, se presenta para compra la correlación entre el consumo de oxígeno y el porcentaje masa muscular y masa grasa obtenidos con el método de Ross y Kerr	120
Tabla 41. Correlaciones entre los coeficientes digitales derecho CD (d) e izquierdo CD (i) con los tres tipos corporales. Se presenta el valor de r, el de p y el de la distribución t para 53 grados de libertad.....	121
Tabla 42. Se presenta las correlaciones bivariadas entre los coeficientes digitales izquierdo ri2d4d, derecho rd2d4d, la diferencia de los coeficientes izquierdo y derecho Dr, los tipos corporales (mesomorfo, ectomorfo, endomorfo) y la masa muscular. Estas correlaciones estan controladas por la variación de la edad (EdadD), la estatura (EE) y el perimetro de la muñeca (PeMuñ).	122
Tabla 43, Tabla de correlaciones entre los índices y los componentes corporales de acuerdo al protocolo de 5 fracciones.....	123
Tabla 44, En la tabla se presentan datos de equipos profesionales de fútbol , A partir del estos se calcula un promedio que se utiliza como referencia para realizar la comparación con las categorías del envigado,	125
Tabla 45. Reporte del SDD de todos los jugadores. En la tabla se evidencia en verde los jugadores que no presentan diferencias significativas con el promedio de las medidas de los equipos profesionales, en amarillo los que están sobre el valor 2 a partir del cual se considera que hay diferencias significativas.	126
Tabla 46, Ejemplo de cálculo de MET para algunos jugadores del EFC.....	128

Índice de Figuras

Figura 1. Sesión de toma de medidas a los jugadores del Envigado Fútbol Club: a) diámetro del fémur en jugador de categoría 1ºB b) perímetro de la cintura en jugador de categoría infantil.....	31
Figura 2. Sesión de entrenamiento de la categoría Infantil. En la foto a se observa una práctica de recepción del balón. En la imagen “a” se observan al entrenador de azul y blanco dirigiendo el ejercicio con el apoyo de un instructor de camisa azul. En la imagen “b” se observa de cerca el desarrollo de la práctica, un jugador lanza el balón al otra para que practique la recepción.	31
Figura 3. Áreas de las trece categorías del somatotipo. Los nombres de cada área se pueden ver en la tabla 10. Reproducido de [41].....	50
Figura 4. Ejemplo del método de superposición para determinar semejanzas entre dos somatotipo medios. Adaptado de [51]......	51
Figura 5. Algoritmo propuesto por De Rose y Guimaraes en 1980 para orientar el entrenamiento de acuerdo al análisis individual del somatotipo. Reproducido de [11].....	52
Figura 6. Representación del flujo de energía en el organismo, no se representa la acumulación.....	58
Figura 7. Gráfica del porcentaje de gasto energético por órgano.....	59
Figura 8. Ejemplo de condiciones de medida de consumo de oxígeno utilizando un equipo portátil, el k4b2 de la firma Cosmed (imagen tomada de la página del fabricante: http://www.cosmed.com/k4b2)	69
Figura 9. Panículos de grasa de los jugadores. En la izquierda se observan los panículos por categoría, en la derecha los panículos de todas las categorías. La dispersión de los datos se reduce al aumentar de categoría (y edad), las medidas de las tres categorías presentan una mayor dispersión	101
Figura 10. Comparación del Índice de Masa Corporal por categorías. Se observa una menos dispersión y un aumento del valor del índice con la edad	103

Figura 11 Comparación del Índice de Forma Corporal por categorías. El valor de este índice resulto ser casi igual en las tres categorías, evidenciándose una disminución de la dispersión coherente con los demás resultados.	103
Figura 12. Comparación del Índice Ponderal por categoría. Los datos en este caso presentan en la sub 17 una menor dispersión que la 1ª B, y el valor de dicho índice es mayor en la categoría 1ª B.....	104
Figura 13. Somatocarta para las tres divisiones del Envigado Fútbol Club.....	105
Figura 14. Comparación entre la división inferiores del Racing Club (14-15) de Argentina y la divisiones inferiores del Envidado Fútbol Club (sub 17 y 1ª B)	106
Figura 15. Comparación entre divisiones del EFC y equipos profesionales	107
Figura 16. Resumen del somatotipo calculado.....	108
Figura 17 Comparación en diagrama de caja para el componente adiposo de las tres divisiones.....	110
Figura 18. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa residual de las tres categorías.....	110
Figura 19. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa de la piel de las tres categorías.....	111
Figura 20. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa ósea de las tres categorías	112
Figura 21. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa Muscular de las tres categorías.....	112
Figura 22. Caja de bigotes del error en la masa predicha.....	113
Figura 23. Caja de bigotes para pruebas de VO2max	114
Figura 24. Gráfico de caja de la superficie corporal calculada para las tres categorías estudiadas	115
Figura 25. Tasa de Metabolismo Basal calculado a partir de los datos de superficie corporal y los datos de la Tabla 13	116

Figura 26. Tasa de Metabolismo Basal calculada con la fórmula de Benedict	116
Figura 27. Tasa de Metabolismo basal calculada con la fórmula de Mifflin, la cual es más general que la de Benedict.....	117
Figura 28. Tasa de Metabolismo basal calculada con la fórmula de Cunningham	117
Figura 29. Tasa de Metabolismo basal calculada con fórmula que usa el panículo tricípital	118
Figura 30 Comparación de las tasas metabólicas obtenidas por los diferentes métodos de la categorías a) infantil, (b) categoría Sub 17 y (c) 1ºB. Se observa que con el método de Cunningham y la ecuación de regresión que utiliza el panículo tricípite se subestima las tasas metabólicas en reposo TMR en relación a las tasas basales las cuales deberían ser más bajas que las de reposo	119

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo centra su atención en los aspectos biológicos asociados a la práctica del fútbol, encontrándose en el campo de la cineantropometría. Además incorpora la perspectiva social, desde la cual la antropología biológica considera la práctica de una actividad deportiva una expresión de la relación entre biología y cultura. Para el antropólogo el deporte es también una de las principales ocupaciones del tiempo de ocio en nuestras sociedades, convirtiéndose en un referente simbólico y cultural en diversos grupos [1]. En el deporte tiene singular importancia y fuerza simbólica el fútbol como espectáculo, llegando a ser considerado un lenguaje universal, una “nueva religión” [1]. Norbert Elias presenta la actividad físico-deportiva, como actividad social total, reflejando valores sociales específicos y problemáticas propias del momento histórico en el cual se desarrollan [1]. De esta manera la antropología del deporte, como especialidad de la antropología social pretende estudiar las prácticas físico-deportivas desde una perspectiva multidimensional e interdisciplinaria, prestando atención a las características que hacen del deporte un aspecto privilegiado de la cultura, con implicaciones en política, economía e identidad [1]. Lejos de un enfoque unidimensional, este trabajo se centra en el área interdisciplinar de la antropología biológica.

A partir de los conceptos de variabilidad humana y la influencia de la actividad física sobre la biología humana, se han realizado tradicionalmente las contribuciones de los antropólogos físicos al estudio de la actividad física y las ciencias del deporte [2], [3], [4], [5]. El aumento en la esperanza de vida y las brechas socioeconómicas y en estilos de vida contribuyen a este aumento en la variabilidad humana, introduciéndose modificaciones sustanciales tanto en el tamaño como en la forma de los integrantes de la especie humana [6].

Independientemente de la edad o la posición social del individuo existen actividades o deportes incompatibles con la estructura física de este, limitándolo, y haciendo que estas se ajusten mejor a otros individuos. Las características morfológicas y el sustrato genético juegan un papel decisivo para el logro de carreras deportivas exitosas y se constituyen en parte del proceso de selección y monitoreo de los deportistas de alto rendimiento, con lo

cual se evidencia cómo las ciencias de la actividad física son parte integral de la biología humana. La cineantropometría estudia la interfaz entre la estructura y la función, con lo cual es posible integrarla dentro de las técnicas de la antropología biológica para identificar el potencial del atleta así como obtener un óptimo desempeño considerando su conformación física [6]. Las ciencias sociales y en particular la psicología también complementan otros aspectos que dan integridad a una visión humanista del deportista aportado estudios relevantes sobre la práctica deportiva [7] [8] en relación a la formación de la juventud, aunque son menos frecuentes los estudios antropológicos o históricos en esta área [9].

En nuestro contexto sociocultural los aportes potenciales de estudios de cineantropometría son considerables en particular en relación a los estudios de crecimiento y desarrollo, nutrición y salud de los jóvenes deportistas. El presente trabajo se realiza teniendo como horizonte estas aplicaciones. En particular se estudian jugadores de las divisiones inferiores del equipo profesional *Envigado Fútbol Club* de la ciudad de Envigado, Antioquia, realizando una aproximación a la relación entre estructura corporal y función, prestando particular atención al gasto energético entre los aspectos funcionales estudiados y a los aspectos ontogénicos asociados con el coeficiente digital 2D:4D (apartado 1.4). Se trata de un estudio transversal exploratorio, que en sus aspectos metodológicos buscaba determinar formas de evaluar el gasto energético en trabajos de campo y el uso del coeficiente digital en estudios de antropología biológica.

Por lo anterior estudiar el gasto energético de futbolistas es interesante por ser un deporte representativo social y culturalmente, además los estudios bio-antropológicos relacionados con el gasto energético son novedosos en nuestro país. El fútbol es una actividad física en la cual se puede evaluar el gasto energético y la relación entre este y la estructura corporal. En Colombia la práctica del fútbol está ampliamente extendida y entorno a ella se desarrollan proyectos sociales de promoción y prevención en el área de la salud individual y de la convivencia ciudadana, por lo cual la aproximación científica al estudio del gasto energético en este deporte tiene un impacto en la visibilización de los beneficios del fútbol para la salud de la población.

1.1 Estructura corporal y función

Situándonos desde la teoría de la Cineantropometría o Kineantropometría¹, la cual se enmarca entre las disciplinas científicas dedicadas al estudio del hombre, en su sentido amplio. Comprender la estructura corporal y su adecuación a la función y desempeño en el deporte es una pregunta de investigación nodal al trabajo de los morfometristas y los fisiólogos.

La cineantropometría es una disciplina que se consolida formalmente en 1986 con la Sociedad Internacional para el Avance de la Kineantropometría, ISAK por sus siglas en inglés (*International Society for Advancement of Kinanthropometry*), establecida en Glasgow, Inglaterra. Una definición inicial de la cineantropometría presentada por William D. Ross en 1978, citado en [10], es: “la ciencia que estudia la relación entre la estructura y la función”. El mismo Ross amplía esta definición [10]: “estudio del tamaño, forma, proporcionalidad, composición, maduración biológica, y función corporal con el objeto de entender el proceso de crecimiento, el ejercicio y el rendimiento deportivo, y la nutrición”

La palabra cineantropometría se deriva de raíces griegas: *Kinèsis*, que significa movimiento; *Anthropos*, relativo a la especie humana y *Métron*, medida. Por tanto, etimológicamente, sería: *la medida del hombre en movimiento*, sin embargo esto induce un error, porque el proceso de toma de medidas antropométricas se realiza en posiciones estáticas, aunque sus aplicaciones incluyen el estudio de la actividad física y el deporte. Existen otras definiciones de las cuales resalto las siguientes: “Nexo de unión cuantitativo entre la anatomía y la fisiología, o entre estructura y función” Ross y Marfell-Jones, 1991, citado en [11]. La definición postulada por la ISAK [11]:

“especialización científica relacionada con la medición del ser humano en su múltiple variedad de perspectivas morfológicas, su aplicación al movimiento y los diversos factores que influyen al mismo, incluyendo los diferentes elementos de la composición corporal, medidas corporales, proporciones, composición, forma y

¹ En inglés se conserva la raíz griega: *Kinèsis*. Inicialmente en español se mantuvo la raíz y se usaba KINEANTROPOMETRÍA, sin embargo en España se impuso el uso de Cineantropometría, por lo que en las publicaciones científicas en idioma español se usa esta última forma.

maduración, habilidad motora y capacidad cardiorrespiratoria y la actividad física que incluye tanto a las de tipo recreativo como la práctica de deportes altamente especializados”

La cineantropometría concierne entonces al estudio de la forma y la función del cuerpo humano en particular en el contexto del movimiento, teniendo las aplicaciones en un amplio rango de áreas como la biomecánica, la ergonomía, estudios de crecimiento y desarrollo, biología humana, medicina, nutrición, terapia física, educación física y ciencias del deporte [12].

1.2 Cineantropometría y deporte

El vínculo entre la cineantropometría y el deporte es constitutivo. La cineantropometría surge como disciplina al amparo de diversos estudios de atletas de juegos olímpicos, en los cuales destacan varios macroproyectos [10]: en los XV Juegos Olímpicos en Helsinki en 1952 en donde Jockl y col. estudiaron las características demográficas de los participantes, en 1960 en los XVII Juegos Olímpicos en Roma, Correnti y Zauli midieron 45 parámetros antropométricos en 194 atletas. En México, 1968 (XIX Juegos Olímpicos) se realizó uno de los más grandes estudios: 1265 deportistas de 13 deportes diferentes, pertenecientes a diversas etnias. En Múnich, 1972, se midieron 15 parámetros antropométricos para compararlos con los datos obtenidos en los Juegos Olímpicos de Roma, 1960. En Montreal, 1976 se realiza otro gran macro proyecto: se miden 338 hombres, 149 mujeres de 53 países de diferentes etnias participantes de 20 deportes, si bien el número de deportistas no es alto, se analizaron aspectos demográficos, etnográficos y 31 variables antropométricas, adicional se estimó la edad esquelética a partir de la radiografía de mano por el método de Greulich-Pyle [10]

Simultáneamente en las décadas de 1970 y 1980 se publican diversos estudios científicos que sientan las bases teóricas de la Cineantropometría. Entre 1972 y 1974, los artículos de William Ross y Marcel Hebbeling, en la década de 1980 se publica el método del *Somatotipo* de Heart-Carter a partir del cual se desarrollan un gran número de artículos publicados, adicionalmente entre 1979 y 1983 se realiza el estudio de valoración de composición corporal, el *Cadaver Anthropometric Study* (CAS) en el que se analizan 25

cadáveres con edades entre los 55-94 años, estos se midieron antropométricamente de forma exhaustiva y se procedió a diseccionarlos para realizar el cálculo de sus densidades segmentadas y totales. A pesar de la desventaja de la edad de los sujetos medidos, este estudio se convirtió en la referencia directa, o “gold standard” para los estudios en los cuales se busca formular ecuaciones para determinar composición corporal [10].

Para 1986, una vez establecida la Cineantropometría desde un punto de vista científico y práctico después de ser aceptada como una ciencia por la *International Council of Sport and Physical Education, N.G.O. A Level Committee, of UNESCO* (teniendo como antecedente el reconocimiento conceptual y académico en 1978). El término había reemplazado paulatinamente en los ámbitos del deporte y la actividad física los términos de Antropometría y Biometría.

Si bien cineantropometría y deporte tienen esta relación constitutiva, las aplicaciones de esta ciencia no se restringen al deporte. La actividad física desarrollada por los seres humanos tiene múltiples escenarios en los cuales se debe destacar, además del deporte, el trabajo, el desplazamiento y demás actividades cotidianas necesarias para la vida y desarrollo como personas en la sociedad. Sin embargo las grandes diferencias en el nivel de actividad física presente entre las poblaciones modernas, están vinculadas con los niveles socioeconómicos y las labores productivas. Las implicaciones en salud y calidad de vida pueden ser estudiadas apoyándose en las herramientas aportadas desde la cineantropometría.

1.2.1 Selección de talentos deportivos

En el ámbito deportivo se explora la posibilidad de utilizar la cineantropometría para hacer selección de talentos, sin embargo hay que hacer algunas precisiones. Muchos factores están involucrados en el desarrollo de un atleta de elite destacándose factores genéticos, fisiológicos, psicológicos, sociológicos, económicos e incluso bioquímicos. El físico y el desempeño en los deportes de equipo son afectados por edad y maduración, proceso de selección, nivel competitivo, posición de juego, táctica y género. A su vez el desempeño atlético depende de la combinación de varias características como son: velocidad, resistencia física, fuerza, habilidad, psicología y táctica, sin limitarse a las anteriores. Estas

características tienen importancia diferente de acuerdo al deporte, al estado de desarrollo del deportista y al número de competencias y el tiempo entre estas [13].

El aspecto físico medido por el antropometrista es el resultado final de un proceso complejo que se desarrolla durante años en el cual intervienen los factores ya señalados antes. La antropometría no refleja por ejemplo el papel de los procesos celulares que son importantes en la función de los tejidos y estos en el desempeño final del deportista. Se debe tomar el cuerpo como un todo en relación con el deporte; el atleta no utiliza para la práctica deportiva un sistema o subsistema, se pone en marcha el individuo como un todo, incluyendo sus circunstancias sociales, culturales y su habilidad psicotécnica. Esto explica por qué hay deportistas con el físico “correcto” con desempeños inferiores, o individuos con físicos inusuales que les confieren ventajas específicas relacionadas con la biomecánica y la fisiología [13].

Carter en [13] señala que el tamaño absoluto o relativo del cuerpo, el somatotipo, la composición y maduración son factores morfológicos que pueden limitar el rendimiento humano. Se infiere que los atletas que tienen o adquieren el físico apropiado tienen ventajas sobre quienes carecen de estas características. La cuantificación de estas características hechas con la cineantropometría puede proporcionar bases para comprender los límites relacionados con la biomecánica o la fisiología del rendimiento físico. A su vez Carter presenta el proceso llamado optimización morfológica (*morphological optimization*) y presión de selección (*selection pressures*), junto con perfilamiento antropométrico (*anthropometric profiling*) los cuales proporcionan el marco para evaluar los atletas de elite.

La optimización morfológica es un concepto que representa el proceso por el cual las exigencias físicas del deporte dan ventaja a la selección de ciertos tipos de cuerpos (estructura y composición) que son adecuados para un deporte en particular, lo cual es evidente en el nivel profesional. Las características morfológicas no están fijadas en la población, éstas van siendo refinadas continuamente dentro de cada generación como una respuesta al entrenamiento, y a lo largo de la evolución humana las normas y la tecnología

están alterando a su vez el estado de los cambios en el deporte. Todo lo anterior impacta en el deporte y modifica la potencial población de la que se seleccionan los deportistas.

1.3 Gasto energético

El gasto energético es una de las variables funcionales que permiten profundizar en la relación entre la estructura y la función del cuerpo humano. Para estimar el gasto energético de una persona se deben tener en cuenta los diferentes componentes de este: el metabolismo basal, la energía gastada durante la actividad física, el efecto térmico de los alimentos y la termorregulación y siendo estrictos, también se deben considerar la morfología de los individuos (peso y estatura) y variables genéticas, ya que las respuestas individuales a la actividad física y al ejercicio son muy variadas, además de considerar la edad [14].

Vallejo *et al.* [15] han propuesto una clasificación de los métodos para medir el gasto metabólico con base en la diferenciación entre la energía necesaria para realizar una determinada actividad y la actividad física, dado que el gasto energético es proporcional a la intensidad de la actividad física, la energía necesaria para realizar dicha actividad varía entre individuos. La relación entre la actividad física y el gasto energético es conocida como eficacia mecánica. Una modificación útil de dicha clasificación es la siguiente:

Actividad física: 1) Métodos de cuantificación de movimiento, habituales en estudios biomecánicos, utilizando podómetros, acelerómetros o marcadores para registro infrarrojo del movimiento. 2) Métodos de observación: consistentes en diarios, autoinformes o cuestionarios avalados por sociedades científicas sobre recuerdos de la actividad física realizada como el *Minnesota leisure time physical activity questionnaire*

Energía gastada: 1) Calorimetría directa. 2) Agua doblemente marcada (18O, 2H). 3), Calorimetría indirecta. 4) Medidas de ingesta de energía. 5) Monitorización de variables fisiológicas: FC (Frecuencia Cardíaca), ventilación pulmonar, temperatura corporal, biopsia muscular, cuantificación de lactato, registro y procesamiento de electromiogramas en diferentes músculos activos.

Adicionalmente se tiene ecuaciones que permiten la estimación del gasto energético, con la cual se renuncia a una medida directa ganando en facilidad de uso de dicho método. Uno de

los métodos más conocidos para estimar el metabolismo basal, son las ecuaciones de regresión de Harris y Benedict, en las cual se relacionan la edad, el peso, la talla y el sexo, otros estándares son los de Fleisch, Boothby, etc. [16]. También se dispone de métodos para predecir el metabolismo basal de un individuo, estimando el área superficial, ya que la pérdida de calor está relacionada con el área superficial del cuerpo y dicho calor es directamente proporcional al metabolismo. Esto se revisará con atención en el apartado 3.5.

Es necesario diferenciar medición del gasto energético, ya sea por métodos directos o indirectos, de la estimación usando ecuaciones del gasto energético. La intención inicial del trabajo era realizar medidas indirectas del gasto energético por lo cual se participó en el proyecto de desarrollar un equipo para medición del gasto energético para aplicaciones en antropología biológica y ecología humana [17], sin embargo este no estuvo disponible para la realización de las medidas. Esta limitación hizo que de los componentes del gasto energético total, solo se midieran las tasas metabólicas, no fue posible medir el gasto asociado a la actividad física en los individuos

1.3.1 Gasto energético y nivel de actividad física

El bienestar y la salud humana están relacionados con la actividad física, ya sea porque ésta se usa como indicador o porque es un medio para mantener las condiciones saludables. El patrón de actividad física humana no se estableció en laboratorios de medicina del deporte, en gimnasios o en prácticas deportivas, este fue establecido por selección natural durante miles de años de evolución humana y pre-humana, dejando su registro en el genoma [18]. La actividad física está íntimamente relacionada con el gasto energético; en la mayoría de mamíferos y durante la mayor parte de la historia evolutiva humana ha estado relacionada con la obtención de alimentos incluyendo en esta historia la de las sociedades agrícolas y ganaderas, pero los grandes logros técnicos y sociales de la industrialización y el crecimiento del sector terciario han permitido que el coste de obtener alimentos haya disminuido, reduciendo la intensidad de la actividad física y con ella el gasto energético. Este desajuste o discordancia entre el estilo de vida contemporáneo y la genética tiene importantes consecuencias en el mantenimiento de las elevadas frecuencias de algunas patologías: obesidad, enfermedades cardíacas, “síndrome X” o síndrome metabólico, resistencia a la insulina y fracturas relacionadas con la edad [19].

El estudio del balance energético en los organismos humanos considera el gasto de energía asociado a las funciones del organismo y la actividad física. El balance se establece entre la energía ingerida, la cual se obtiene de los alimentos y bebidas, y la consumida en las funciones biológicas y la actividad física, dicho balance puede dar cuenta de diferentes padecimientos: la desnutrición indica un balance negativo, es decir un mayor gasto energético no compensado por la energía ingerida con los alimentos, y la obesidad se puede entender como el resultado de un balance energético positivo prolongado en el tiempo que conduce a la aparición de un depósito de grasa por encima del nivel de referencia [20]. En este sentido el estudio del gasto energético brinda elementos para el estudio de los trastornos metabólicos y las necesidades nutricionales.

El nivel de actividad física (PAL, por sus siglas en inglés) [21], tiene efectos no solo a nivel cardiovascular, también afecta a la estructura corporal, no solo en términos de obesidad, también el sistema óseo se ve afectado por el PAL. El ejercicio intenso hace que la densidad mineral ósea aumente, como resultado de la adaptación del hueso para soportar esfuerzos, adicionalmente la geometría de estos cambia, aumentando sus secciones transversales, especialmente cuando el ejercicio intenso tiene lugar durante la niñez, la adolescencia y la edad adulta temprana [19]. Esto nos indica la necesidad de estudiar el gasto energético en relación con la estructura corporal en poblaciones actuales, no solo por interés teórico de determinar un nivel de actividad física indicado para la salud humana, adicionalmente aporta información sobre el estado de salud de dichas poblaciones.

1.4 Coeficiente digital

El rendimiento deportivo está influenciado por múltiples factores, biológicos y no biológicos. Uno de los factores ontogénicos en los cuales se desarrollan estudios en la actualidad, es el efecto en la organización del cuerpo (the organisational effects) de la testosterona y el estrógeno prenatal, dicho efecto se presenta de una forma permanente en una etapa crítica del desarrollo temprano, cambiando la estructura y función del cuerpo [22].

Se ha identificado que un buen indicador de la cantidad de hormonas en el feto es la relación de la longitud de los dedos, ya que la formación de las gónadas y la diferenciación

de los dedos es influenciado por los genes *Hox* (*Homeobox*), en particular los *Hoxa* y *Hoxb*, los cuales al presentar mutaciones generan defectos en los dedos y el sistema urinario como lo observó Kondo *et al.* en 1977, citado en [22]. Esto permitió sugerir que el patrón de los dedos puede reflejar el nivel de hormonas prenatales, siendo un buen candidato como indicador la relación entre el segundo dedo (2D) y el cuarto dedo (4D), o razón 2D:4D. Las razones expuestas en [22] son: 1) la razón 2D:4D, muestra un dimorfismo sexual, siendo menos para hombres que para mujeres, o dicho de otra manera, el dedo 4, es relativamente más largo para hombres que para mujeres. 2) se ha observado que la diferencia sexual en la razón 2D:4D está presente a los dos años y no cambia en la pubertad. 3) la razón 2D:4D presenta considerables variaciones geográficas y étnicas, pero conserva su robustez en todas las poblaciones. 4) las madres con una alta relación cintura-cadera, con una correlación positiva de testosterona tienden a tener niños con una baja relación 2D:4D, o relación masculinizada. 5) el fluido amniótico de las madres con una relación masculinizada de 2D:4D presenta una mayor concentración de testosterona fetal.

En conclusión, una razón baja 2D:4D puede mostrar una correlación entre una alta concentración prenatal de testosterona y una baja de estrógenos. Este ambiente prenatal es asociado con la formación de un eficiente sistema muscular (masculino) y mayores habilidades atléticas. Para soportar esto en el VIII congreso de la ISAK celebrado en 2002, J.T. Manning, P.E. Bundred y R. Taylor [23] presentan datos sobre la velocidad de carrera y habilidades para el fútbol asociadas con un bajo 2D:4D, además muestran la relación de un alto 2D:4D con la aparición temprana de enfermedades cardíacas.

Los datos recolectados para 128 atletas masculinos que participan en carreras de media distancia (*cross-country*), en 800m y 1500m, mostraron que los atletas con una proporción baja de 2D:4D de la mano derecha fueron más rápidos que los que tenían una proporción alta, también se reportan datos para corredores adultos mayores, concluyéndose que el análisis del coeficiente de correlación no varía con la edad. En larga distancia, 6 millas, se estudian 47 hombres, en los cuales se obtiene la proporción para mano derecha e izquierda, encontrando nuevamente una correlación entre una razón pequeña y mayor velocidad en competencia, y una proporción alta con un rendimiento menor. En dicho estudio también se

estudian las habilidades para la práctica del fútbol , al igual que en [24], donde además se ha planteado que esto es un factor de selección sexual.

Quizás una de las áreas de estudio más llamativa asociada con la proporción 2D:4D es la asociada con estudios de la conducta, en los cuales se asocian conductas agresivas con un bajo 2D:4D [25], también se presentan estudios en los cuales se evidencia la correlación entre esta proporción y habilidades artísticas, en particular habilidades musicales [26].

Existe dimorfismo sexual en relación con las habilidades atléticas como la velocidad a la cual se corre, evidenciándose un 12% de mayor velocidad en hombres sobre el mismo rango de distancias [27]. Esta ventaja se debe en parte a algunas diferencias sexuales como: capacidad máxima de oxígeno VO_{2MAX} , límite anaeróbico y eficiencia mecánica (*running economy*), sin embargo estos factores fisiológicos son multifactoriales y pueden estar influenciados por factores como la actitud competitiva de los hombres y la frecuencia e intensidad de la práctica deportiva [27]. Es de interés observar la relación entre el 2D:4D y el consumo de oxígeno (VO_{2MAX}), ya que se considera que este último tiene una importante influencia genética.

1.5 Estudios en futbolistas

1.5.1 Estudios antropométricos

Carter en el artículo *Anthropometry of Team Sports* [13] presenta datos antropométricos para diferentes deportes de equipo como basquetbol, rugby, nado sincronizado entre otros, en particular presenta datos para los futbolistas que participaron en la copa américa en 1995 en Uruguay. Se realizó un estudio de cineantropometría y un análisis de movimiento de los jugadores de 6 selecciones nacionales (N=110). Argentina (n=22), Bolivia (n=20), Colombia (n=14), Ecuador (n=22), Paraguay (n=10) y Uruguay (n=22). Se midieron 41 variables antropométricas, las cuales se analizaron en términos de tamaño absoluto y relativo del cuerpo, somatotipo y composición corporal. En la Tabla 1 (3 primeras filas) se presenta el resumen de los datos obtenidos, en donde se discrimina entre los arqueros y las demás posiciones de juego al encontrarse que son el subgrupo por posición que presenta más diferencias.

En Argentina se realizaron estudios antropométricos entre 2000 y 2002 en 1336 atletas en el Centro Nacional de Alto Rendimiento Deportivo. El número de futbolistas fue de 17 mujeres y 31 hombres, en la Tabla 1. Datos de estudios antropométricos. En las tres primeras filas los datos reportados por Carter, en la cuarta fila datos de estudios realizados en Argentina, quinta fila selección de fútbol española de 1990 y en la sexta fila datos de la Comunidad Autónoma de Madrid (4 fila) se presentan sólo los datos de los futbolistas masculinos [28]. En España se realiza el estudio cineantropométrico de la selección española que participó en el mundial de fútbol de Italia 1990, concentrándose en los apartados de somatotipo y composición corporal (ver Tabla 1), con el objetivo de comprobar si existía un patrón que identificara al futbolistas de elite [29]. En [30] se presenta un estudio en 56 futbolistas profesionales de la comunidad Autónoma de Madrid, en Tabla 1 se presentan los datos complementados con los valores de somatotipo contenidos en la tesis doctoral de Herrero [11]

Ref.	Posición	N	Edad	Estatura	Peso	$\sum 6 pl$	Somatotipo	SAM	SDI
[13]	Jugadores	110	26,1 4,1	1,777 0,05	76,4 7,0	46,5 -	2,1 – 5,3 – 2,2 0,5 – 0,8 – 0,6	1,0 0,5	
[13]	Porteros	15	27,9 5,2	1,824 0,04	84,6 6,6	57,9 -	2,6 – 5,5 – 1,9 0,7 – 0,6 – 0,5	0,9 0,5	
[13]	Otras posiciones	95	25,8 3,7	1,770 0,05	75,0 6,3	44,7 -	2,0 – 5,3 – 2,2 0,5 – 0,8 – 0,6	1,0 0,5	
[28]	todas	31	22,0 2,6	178,4 6,6	76,2 6,5	--	2,3 – 4,8 – 2,2 0,5 – 1,0 – 0,6	--	2,5
[29]	todas	16	26,1 2,1	177,8 6,53	77,3 6,08	50,2 12,36	2,2 – 5,1 – 1,9 --	0,95 0,51	2,20 0,76
[30]	todas	59	26,0 3,4	177,87 6,78	77,224 5,60		2,18 – 4,95 – 1,85 --		

Tabla 1. Datos de estudios antropométricos. En las tres primeras filas los datos reportados por Carter, en la cuarta fila datos de estudios realizados en Argentina, quinta fila selección de fútbol española de 1990 y en la sexta fila datos de la Comunidad Autónoma de Madrid. En la tabla N es el número de jugadores, SAM es dispersión morfogenética del somatotipo y SDI es el índice de dispersión del somatotipo

1.5.2 Estudios antropométricos y funcionales en futbolistas jóvenes

Gustavo D. Zubeldía *et al.* realizan estudios cineantropométricos en clubes de fútbol profesional argentinos concentrándose en las divisiones inferiores que comprenden un rango de edades entre los 14 y los 19 años, dicho rango etario corresponde con el rango en el cual se desarrolla este trabajo. En [31] se estudian las características antropométricas y funcionales relacionadas con la posición de juego en jugadores de 14 a 15 años del Racing club de Argentina, midiéndose en total 51 jugadores. En [32] Zubeldía determina las

características morfológicas y físicas de seis divisiones inferiores del Club Atlético Lanús que iban desde la 9° división con edades alrededor de los 14 años, hasta la 4° división con edades alrededor de los 19 años. En la Tabla 2 y la Tabla 3 se presenta un resumen de algunos de los resultados reportados en [31] y [32]. En [33] Mazza y Zubeldía, estudian la relación entre la masa muscular y algunas capacidades funcionales en futbolistas entre los 16 y 17 años pertenecientes al Racing Club.

DIVISIÓN	TALLA (cm)	Peso (Kg.)	MASA MUSCULAR (Kg.)	MASA ADIPOSITA (Kg.)	MASA ÓSEA (Kg.)
4° DIVISIÓN (n=16) edad=19,73	176,28 ± 6,50	71,28 ± 5,89	35,8 ± 3,6	15,35 ± 1,72	8,29 ± 0,8
5° DIVISIÓN (n=16) edad=18,46	174,56 ± 6,39	68,63 ± 6,43	33,55 ± 3,58	15,15 ± 2,02	7,95 ± 0,99
6° DIVISIÓN (n=18) edad=17,43	175,36 ± 5,7	70,86 ± 5,77	34,21 ± 3,19	16,45 ± 2,21	8,34 ± 0,7
7° DIVISIÓN (n=16) edad= 16,48	173,08 ± 7,56	69,37 ± 7,11	33,55 ± 4,09	15,58 ± 2,1	7,92 ± 0,92
8° DIVISIÓN (n=17) edad=15,49	171,27 ± 7,24	65,73 ± 8,48	31,22 ± 5,66	15,87 ± 1,51	7,76 ± 1,4
9° DIVISIÓN (n=21) edad=14,50	167,74 ± 5,21	58,69 ± 5,84	27,31 ± 3,67	14,11 ± 1,59	7,19 ± 0,83

Tabla 2. Antropometría y composición corporal de jugadores juveniles del Club Atlético River Plate, 2002 [31]

Variables Antropométricas	MEDIA	DS	Mínima	Máxima	Media
EDAD DECIMAL	15,89	0,6	14,74	16,65	15,96
PESO (Kg.)	66,76	6,96	53,5	81,3	65,8
TALLA (cm.)	173,48	6,3	157,00	188,80	172,8
TALLA SENTADO	90,85	2,98	85,00	97,0	90,85
MASA MUSCULAR (Kg.)	30,93	4,52	21,61	39,20	30,12
MASA ADIPOSITA (Kg.)	16,96	2,72	12,82	25,36	16,86
MASA ÓSEA (Kg.)	7,77	1,16	5,46	10,11	7,66
MASA RESIDUAL (Kg.)	8,05	0,86	5,71	9,89	8,17
MASA PIEL (Kg.)	3,87	0,33	3,21	4,76	3,89
% MASA MUSCULAR	45,61	3,38	34,00	51,55	46,35
% MASA ADIPOSITA	24,83	3,33	20,19	32,36	24,74
% MASA ÓSEA	11,68	1,04	9,72	14,95	11,59
% MASA RESIDUAL	11,95	0,95	8,34	14,73	11,95
% MASA PIEL	5,75	0,36	5,15	6,95	5,71
ENDOMORFIA	2,37	0,56	1,50	3,9	2,3
MESOMORFIA	4,47	0,66	2,30	5,9	4,5
ECTOMORFIA	2,70	0,71	1,3	4,5	2,6

Tabla 3. Perfiles antropométricos, composición corporal y somatotipos en jugadores de Racing Club. [31]

DIFERENTES EQUIPOS DE FÚTBOL NACIONALES	VO2MAX ML / Kg / min
Sub 17 Argentino. (n=12, APTUS 1998)	53,0 ± 6,23
Sub 20 Argentino. (n=19, APTUS 1998)	52,84 ± 3,5
4° Y 5° División Lanús. (Edad: 18.6; n=31; Ramos, N., Zubeldía G., 2001)	57,63 ± 1,68
4° Div. Racing Club (Edad: 19.7; n=31; Coceres H, N., Zubeldía G., 2001)	57,6 ± 3,4
9° Div. Racing Club (Edad: 14.7; n=32; Mazza O., Zubeldía G., 2003)	53,3 ± 6,06
8° Div. Racing Club (Edad: 15.3; n=25; Mazza O., Zubeldía G., 2003)	55,3 ± 5,09

7° Div. Racing Club (Edad: 16.4; n=27; Mazza O., Zubeldía G., 2003)	56,8 ± 3,44
6° Div. Racing Club (Edad: 16.9; n=27., Zubeldía G., 2006)	58,7 ± 3,4
7° Div. Club Vélez Sarfield (n=24; Murano S, Año 1992)	55,74 ± 4,23
9° Div. Club Vélez Sarfield (n=24; Murano S, Año 1992)	52,77 ± 12,6
1° Div. Liga Catarmarqueña de Fútbol (Edad: 19.7; n=95; Gregorat. JJ, Gershani PA., 2001)	55,85 ± 2,82
64 Futbolistas de nacional "B" de 18 ± 1.9 años (Dr Mauro Sergio y col, Fundación favaloro)	60,24
1° Div. "B" Ituzaingo. . (n=24 , Fernandez M.,2000)	54,66 ±2,30
1° Div. Nacional "B" Mendoza. (Edad: 26.3; n=24; Aquila F.,1998)	55,2 ± 4,5
1° División "B" del fútbol Argentino. (Edad: 25.6; n=12; Antivero E., 2003)	53,3 ± 4,3

Tabla 4. Valores de la variable consumo de oxígeno (VO₂ máx) para diferentes equipos nacionales de fútbol profesional, juvenil y amateur [32].

DIFERENTES EQUIPOS DE FÚTBOL INTERNACIONALES	VO ₂ MAX ML / Kg / min
1° División de equipos en Alemania (Nowacki y col. 1988)	62
Holandeses 1° División. (Vertappen 1989)	68 ± 4,35
1° División Italiana (Bosco 1984)	65 ± 5,37
1° División Italiana de elite. (Bangsbo J. 1997)	61,7 (57,1 – 72,6)
Diferentes investigaciones de Reilly (Año 1998)	55 – 69
Liga Danesa de Fútbol (Bangsbo J. 1991/ 92)	54 – 456
Equipo Elite Sueco. (Ekblom 1986)	66 ± 6,7
62 Jugadores Semiprofesionales. Santander España (Villareal Rocha O.M. 2004)	54,77 ± 4, 48
Rayo Vallecano (Arce y cols1993)	61,05
12 jugadores profesionales 1° División Británica (Edwards AM., Niall C, Macfadyen AM. 2005)	63,3 ± 5,77
Club Dep. Suchitepequez Fútbol profesional Guatemala (Maza, O., 2006)	53
135 Jugadores de primera y segunda división de fútbol de la liga Inglesa. Football Association National Human Performance Centre, Lillleshall Hall National Sports Centre, Newport, Shropshire, UK (Davis JA, Brewer J, Atkin D.)	56,4 ± 3,9
Jugadores de Fútbol de elite de arab ia saudita (Al- hazzaa HM, Almuzaini KS, Al- Refae SA, Sulaiman MA, Dafterdar MY, Al- ghamedi A, Al- Khuraiji KN., 2001)	56,8 ± 4,8
72 Futbolistas seleccionados de 16 a 18 años de la escuela de Knimi High School, Nagasaki, Japan, (Tahara Y, Moji K, Tsunawake N, Fukuda R, Nakayama M, Nakagaichi M, Komine T, Kusano Y Aoyagi K., 2006)	61,4

Tabla 5. Valores de la variable consumo de oxígeno (VO₂ máx) para diferentes equipos internacionales de fútbol.[32]

Se han realizado estudios del gasto energético en futbolistas durante la competición deportiva, ya que este deporte es de alta demanda energética [34], [35], incluso durante el entrenamiento, según [36], el gasto durante el entrenamiento en jugadores profesionales ingleses se estimó en 1500 kcal. Las demandas fisiológicas son multifactoriales y varían marcadamente durante el partido, correspondiendo con un patrón de ejercicio acíclico, en el cual el jugador realiza diferentes actividades, desde caminar hasta la carrera máxima, lo cual lo distingue de otros deportes donde la actividad se realiza a la misma intensidad, alta o moderada, durante todo el evento [36]. Adicionalmente en el fútbol el tamaño corporal no es determinante de éxito en su práctica, y solo afecta la elección de posición de juego, la

talla solo representa una ventaja para el arquero, los defensas centrales y los delanteros, sin embargo la composición corporal sí es relevante en la condición física del futbolista [36].

1.6 Divisiones inferiores del Envigado Fútbol Club

El equipo profesional del fútbol colombiano, *Corporación Deportiva Envigado Fútbol Club* fue fundado el 14 de Octubre de 1989 y juega en la categoría primera A. Desde su fundación el equipo le apuesta a la estructuración de sus divisiones inferiores, logrando la formación de jugadores de talla internacional, teniendo como lema “envigado fútbol club, cantera de héroes”. En el año 2012 el equipo participó en la Copa Sudamericana, evento con 47 equipos de 10 países [37].

La tradición de formar jugadores está presente desde sus inicios [38], a su vez el departamento de Antioquia ocupa un lugar importante en el fútbol profesional colombiano contando actualmente con cuatro equipos en la principal categoría: el Envigado Fútbol Club, las Águilas Doradas de Itagüí, el Atlético Nacional y el Deportivo Independiente Medellín, de un total de 18 equipos que disputan el torneo en 2012, siendo el departamento con más equipos seguido por el distrito capital, Bogotá con tres equipos [39].

El Envigado Fútbol Club tiene divisiones inferiores que van desde los 13 años de edad hasta la máxima categoría del fútbol colombiano, la primera A. El presente estudio se desarrolla con la división sub 17 (menores de 17 años), y la primera B (menores de 18 años) del envigado. En asocio con alcaldía de envigado y la *Corporación Deportiva Envigado Fútbol Club* se conformó la escuela de fútbol E.F.I.S.A.E, en la cual juegan niños con menos de 13 años, dicha escuela se ha coronado campeona en varios torneos infantiles nacionales mostrando un alto rendimiento en categorías infantiles [40].

Los jugadores estudiados en el presente trabajo son un total de 55: categoría sub 17: 21; categoría 1°B: 19; y 15 niños de la escuela E.F.I.S.A.E menores de 13 años, sin embargo con estos últimos no fue posible realizar pruebas cardiorrespiratorias y solo se les realizó el estudio antropométrico.

Se utilizó el protocolo ISAK nivel II, para obtener el perfil antropométrico total, adicionalmente se realizaron medidas para calcular el coeficiente de los dedos 2 y 4

(coeficiente digital 2D:4D). Las pruebas físicas para la determinación indirecta del consumo máximo de oxígeno se realizaron con el apoyo de los entrenadores de las categorías sub17 y 1°B,



Figura 1. Sesión de toma de medidas a los jugadores del Envigado Fútbol Club: a) diámetro del fémur en jugador de categoría 1°B b) perímetro de la cintura en jugador de categoría infantil.



Figura 2. Sesión de entrenamiento de la categoría Infantil. En la foto a se observa una práctica de recepción del balón. En la imagen “a” se observan al entrenador de azul y blanco dirigiendo el ejercicio con el apoyo de un instructor de camisa azul. En la imagen “b” se observa de cerca el desarrollo de la práctica, un jugador lanza el balón al otra para que practique la recepción.

2 OBJETIVOS

Estudiar la relación entre la estructura corporal y la función, en particular, las funciones asociadas con el consumo energético y con el índice 2D:4D como indicador del factor ontogénico de la testosterona prenatal, en los jugadores de fútbol de divisiones inferiores del Envigado Fútbol Club.

2.1 Objetivos específicos

- Evaluar las características antropométricas y estructura corporal de los jugadores.
- Evaluar la tasa de metabolismo basal utilizando información del tamaño corporal.
- Evaluar la tasa de metabolismo en reposo utilizando la composición corporal.
- Obtener los equivalentes metabólicos (MET) para los jugadores.
- Analizar la asociación entre la estructura corporal y el consumo de oxígeno.
- Explorar la relación existente entre el coeficiente digital de los dedos 2 y 4 y la estructura corporal.

3 BASES TEÓRICAS

3.1 Sistema de similitud en Antropometría

Cuando se desea comparar alguna dimensión corporal o relacionar alguna cualidad como la fuerza con el tamaño del cuerpo, se está estudiando un problema de alometría, es decir, del estudio comparado de la variación en tamaño de dimensiones que están medidas en escalas diferentes. Uno de los objetivos básicos de la antropometría es buscar la relación de las variables independientes (sexo, edad, condición física, etc.), con otras variables dependientes como el tamaño corporal o las variables funcionales. En el caso de este trabajo se parte de la relación entre el tamaño corporal y la masa corporal activa (o masa libre de grasa) para estimar las tasas metabólicas.

Establecer una relación entre dos variables cualesquiera implica establecer un modelo teórico que cimiente esta relación. El desarrollo de este modelo dependerá de consideraciones teóricas y/o de procedimientos estadísticos que muestren que también la variable independiente predice la dependiente. En antropometría se han utilizado comúnmente 3 tipos de modelos: 1) el modelo de proporción o cocientes, 2) el modelo de regresión y 3) el de la ecuación alométrica general [41].

No es conveniente usar los valores fisiológicos absolutos o expresarlos por unidad de peso corporal, al hacerlo se llega a correlaciones erróneas o a plantear relaciones teóricas que son fisiológicamente insostenibles. Por ejemplo, si el diagnóstico de algunos estados patológicos se realiza a partir de estudiar relaciones alométricas, un inadecuado uso de estas podría llevar a clasificar individuos en estados patológicos cuando no lo son. Esto conduce a falsos positivos. Por ello la alometría no se debe usar con fines de diagnóstico clínico sino para evaluar riesgos dimensionales. Un ejemplo de este caso es el extendido uso del Índice de Masa Corporal (IMC o índice de Quetelet) como predictor de la obesidad, ya que ésta en sentido estricto se debería de medir como exceso de masa grasa (ver apartado 3.5). Por ello, en salud pública la detección de obesos por el IMC en estudios de tamizaje por la asignación de riesgo de obesidad es solo una etapa para remitir a la persona a otras instancias. El IMC en deportistas es alto y por ello muchos serían incluidos en la categoría

de sobrepeso si fueran personas pertenecientes a la población general debido a que su exceso no es por grasa sino por el desarrollo del tejido muscular esquelético.

Se han observado relaciones alométricas entre el peso corporal y distintas variables funcionales, en particular las variables relacionadas con el consumo de oxígeno. Una de las relaciones es la “Regla de Kleiber”, la cual establece que la tasa metabólica (tanto la tasa metabólica en reposo como la tasa metabólica máxima) es proporcional al peso elevado a la potencia 0.75. Otra de las reglas establece una relación entre fuerza y peso corporal. En 1956 Lietzke analizó los datos sobre marcas mundiales en levantamiento de pesas y encontró que el peso levantado variaba con el peso corporal del pesista en una potencia de 0.67. Una de las relaciones alométricas más interesantes es producto del análisis de Jerison (1973), en el cual establece que el tamaño absoluto del cerebro podría no ser el mejor índice de inteligencia, la relación establecida es una regresión del logaritmo de la masa del cerebro contra el logaritmo del peso corporal y con estas regresiones calculó un coeficiente de encefalización que evidencia el salto evolutivo que implica la inteligencia del *Homo sapiens* con un coeficiente de 7,6 comparado con el 1,5 de los primates en general [41].

Hay básicamente dos sistemas de similitud: la similitud geométrica y la similitud elástica. La similitud geométrica se puede entender a partir de un cubo de lado L, en dicho cubo cada cara, tiene un área de $L \times L$ y el volumen del cubo es $L \times L \times L$, de esta manera si se duplica el lado L del cubo, manteniendo la forma, entonces cada cara aumentará su superficie por cuatro y el volumen se aumentará ocho veces, así un aumento en la estatura es reflejada en aumentos proporcionales del área superficial y el volumen corporal. En cambio, la similitud elástica se basa en la premisa razonable de que la forma y el tamaño están determinados por las fuerzas a las que están sometidos los organismos, siendo las más importantes la gravedad y la inercia. Thomas McMahon en 1983 propuso este sistema de similitud. En la Tabla 6 se encuentran las relaciones entre la altura y el peso con distintas dimensiones antropométricas.

Dimensión	Similitud Geométrica	Similitud elástica
Altura	Masa 0.33 Altura ¹	Masa 0.25 Altura ^{1.0}
Diámetro	Masa 0.33 Altura ¹	Masa 0.38 Altura ^{1.5}
Perímetro	Masa 0.33 Altura ¹	Masa 0.38 Altura ^{1.5}
Áreas Transversales	Masa 0.67 Altura ²	Masa 0.75 Altura ³

Superficies	Masa 0.67 Altura ²	Masa 0.63 Altura ^{2.5}
Volúmenes	Masa 1 Altura ³	Masa 1 Altura ⁴

Tabla 6. Relaciones entre la altura y el peso, y distintas dimensiones antropométricas, estimadas por sistemas de similitud geométrica y elástica [41]

3.1.1 Ajuste de variables antropométricas

Para poder realizar comparaciones entre individuos o intra-individuales es necesario construir una escala común. Por ejemplo, si una persona tiene 180cm de estatura con un pliegue tricipital de 15 cm y otra persona de 160 tiene un pliegue tricipital de 12 cm ¿es válido comparar el valor absoluto de ambos pliegues si pertenecen a personas de distinto tamaño? Un razonamiento alométrico nos indica que no. Para comparar los pliegues del ejemplo anterior es necesario ajustarlos a una estatura aceptada como la estatura de referencia, por ejemplo el hombre de referencia en el método *Phantom*, mide: 170,18cm [41].

Para determinar los valores de las variables antropométricas ajustadas con la estatura de referencia se utiliza el siguiente procedimiento:

Se toma el valor bruto de la dimensión antropométrica del individuo y se multiplica por el factor de escalado $(170.18/h)^d$, en donde **h** es la estatura del individuo estudiado, 170,18 la estatura de referencia y **d** es un exponente alométrico. Generalmente se utiliza para variables antropométricas un rango de exponentes alométricos dentro del rango de la similitud geométrica, para la cual se tiene: d=1 para perímetros, pliegues, longitudes y diámetros; d=2 para superficies y áreas transversales; d=3 para las masas y los volúmenes [41].

Dos ejemplos de escalas antropométricas son la escala-O (*O-Scale System*) presentado por Ross y Ward en 1985 y la escala-Oz que se basa en la escala-O. La escala-O utiliza un sistema de similitud geométrica y permite encontrar estimaciones de adiposidad a partir de seis pliegues cutáneos y de peso proporcional. Con los valores calculados se puede recurrir a la escala y realizar juicios sobre la naturaleza de la composición corporal en términos de contribuciones relativas de masa grasa y no grasa. El procedimiento es sencillo, se calcula la sumatoria de los seis pliegues: tríceps, subescapular, supra espinal, abdominal, muslo

frontal y pantorrilla medial; y se corrige la sumatoria para la estatura. El valor obtenido se compara con las normas, construidas a partir de amplios datos de la población norteamericana. De igual forma se realiza con el peso el cual es corregido también para la estatura [41].

La escala-Oz se basa en la escala-O, pero difiere en la población a partir de la cual se construye la escala, para el caso son poblaciones australianas, adicionalmente el procedimiento por ejemplo el perímetro del brazo, se corrige con el pliegue tricipital y el bicipital, los pliegues se corrigen por el grosor de la piel y los datos son presentados de forma diferente [41].

3.1.2 Ajuste de variables funcionales

Si se desea comparar variables funcionales se presenta la misma dificultad de las variables antropométricas ¿cómo comparar la fuerza de dos individuos de tamaños diferentes o su consumo de oxígeno? En las competencias deportivas se consideran estas relaciones, por lo cual las competencias se realizan por categorías de pesos en deportes como el boxeo o el levantamiento de pesas. Una revisión del rendimiento deportivo en levantamiento de pesas permitiría expresar la fuerza como una función de los kilogramos levantados por los kilogramos corporales, sin embargo esta formulación pondría en desventaja a las personas más grandes, pues con base en kilogramo por kilogramo los levantadores de pesas pequeños tienen mejor desempeño. De forma similar ocurre con el consumo máximo de oxígeno en carrera (expresado en $\text{ml.kg}^{-1} .\text{min}^{-1}$), que es menor para los corredores más pesados que para los más livianos, o si se considera el consumo de oxígeno máximo expresado en l.min^{-1} las personas más grandes tendrían valores mayores, y al expresarlo en $\text{ml.kg}^{-1} .\text{min}^{-1}$ entonces están en desventaja, lo que nos indica que se deben ajustar con valores apropiados estas variables funcionales. En la Tabla 7, se presentan algunos aspectos del rendimiento deportivo y las relaciones de este con el peso y la estatura usando la similitud geométrica. La expresión de las variables funcionales es siempre específica de cada tarea funcional [41].

En relación al gasto energético se ha utilizado el ajuste funcional para estudiar la relación entre el rendimiento deportivo y los requerimientos energéticos de la actividad, por ejemplo

en los resultados obtenidos por Klentrou y Montpetir en 1992 [41] se muestra que el consumo de oxígeno durante la natación en estilo libre está en función del peso elevado a la potencia 0,75 y en estilo espalda es función del peso elevado a la potencia 0,55 [41].

Aspecto del rendimiento	Proporcional a
Carrera	Altura ⁰ Peso ⁰
Salto	Altura ⁰ Peso ⁰
Fuerza	Altura ² Peso ^{0.67}
Trabajo	Altura ³ Peso ¹
Potencia (Absoluta)	Altura ² Peso ^{0.67}
Potencia (Relativa)	Altura ^{0.67} Peso ^{0.22}

Tabla 7. Algunos aspectos del rendimiento deportivo y su proporcionalidad con el peso y la estatura [41].

3.1.3 Modelo de referencia unisexuado *Phantom*

Un modelo de referencia es un modelo normativo del cuerpo basado en proporciones ideales. Estos modelos se han elaborado desde hace siglos, como por ejemplo el hombre *Vitruvius* de Da Vinci o el modelo de referencia de Albert Behnke presentado en 1970 en el cual se establece cuál es el contenido de grasa para hombres y mujeres. En hombres: 15% del cual de 3 a 12% sería grasa esencial y en mujeres: 27% del cual de 9 al 15% sería grasa específica [42]. El modelo *Phantom* es una clase diferente de modelo en el sentido de que se construyó como un “modelo metafórico” como lo describen sus creadores Ross y Wilson. El modelo es una referencia humana unisexuada arbitraria con características antropométricas específicas como la estatura, el peso, porcentaje de grasa corporal, masa grasa y muscular, perímetros, espesor de pliegues cutáneos y diámetros óseos, los cuales son establecidos a partir de los datos promedio de grandes estudios poblacionales sin tener en cuenta el sexo [41].

Su uso principal es ajustar y escalar las variables, lo cual significa que los valores de referencia no son valores normativos o prescriptivos de la población, solo es una referencia (la mediana o percentil 50 de la población de referencia) a partir de la cual se pueden realizar comparaciones. Si un individuo está por encima o por debajo de algún valor *Phantom* está por encima o por debajo del valor de la mediana de la referencia. La estrategia para cuantificar las diferencias entre individuos, o incluso dentro de un mismo

individuo, es hacerlo en términos de diferencias respecto al *Phantom* el cual representa una población normalmente distribuida [41].

Para calcular el valor Z asociado a una variable se utiliza la siguiente ecuación en la sistema de escala-Oz:

$$Z = \frac{V^{adj} - p}{s} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde p es el valor medio (mediana) *Phantom*, s la desviación estándar del valor *Phantom* y V^{adj} está dado por la dimensión antropométrica escalada para la estatura:

$$V^{adj} = V \cdot (170.18/h) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde V es el valor de la variable antropométrica medida y h es la altura. Los valores del modelo se encuentran reportados en [11] y se presentan en la Tabla 8.

VARIABLE	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA
ALTURAS		
Talla	170,18	6,29
Talla Sentado	89,92	4,50
Altura Acromial	139,37	5,45
Altura Radial	107,25	5,37
Altura Estiloidea	82,68	4,13
Altura Digital	63,83	3,38
Altura Ileoespinal	94,11	4,71
Altura Trocantérea	86,40	4,32
Altura Tibial	44,82	2,56
Altura Maleolar	8,01	0,96
LONGITUDES		
Envergadura	172,35	7,41
Total Extremidad Superior	75,95	3,64
Brazo	32,53	1,77
Antebrazo	24,57	1,37
Mano	18,85	0,85
Total Extremidad Inferior	79,40	3,97
Muslo	41,37	2,48
Pierna	37,72	2,15
Pie	25,50	1,16
PLIEGUES CUTÁNEOS		
Tríceps	15,4	4,47
Bíceps	8,0	2,00
Subescapular	17,2	5,07
Pectoral	11,8	3,27
Ileocrestal	22,4	6,80
Supraespinal	15,4	4,47

Abdominal	25,4	7,78
Muslo Anterior	27,0	8,33
Pierna Medial	16,0	4,67
DIÁMETROS		
Biacromial	38,04	1,92
Bideltoido	43,50	2,40
Transverso Tórax	27,92	1,74
Antero - Posterior Tórax	17,50	1,38
Biileocrestal	28,84	1,75
Bitrocantéreo	32,66	1,80
Biepicondíleo Húmero	6,48	0,35
Biestiloideo	5,21	0,28
Anchura Mano	8,28	0,50
Bicondíleo Fémur	9,52	0,48
Bimaleolar	6,68	0,36
Anchura Pie	10,34	0,65
PERÍMETROS		
Cefálico	56,00	1,44
Cuello	34,91	1,73
Mesoesternal (Torácico)	87,86	5,18
Abdominal 1 (Cintura)	71,91	4,45
Abdominal 2 (Umbilical)	79,06	6,95
Cadera	94,67	5,58
Brazo Relajado	26,89	2,33
Brazo Contraído	29,41	2,37
Antebrazo	25,13	1,41
Muñeca	16,35	0,72
Muslo (1 cm. Pli. Ingui)	55,82	4,23
Pierna	35,25	2,30
Tobillo	21,71	1,33
MASAS		
Peso Total	64,58	8,60
Masa Ósea	10,49	1,57
Masa Muscular	25,55	2,99
Masa Residual	16,41	1,90
Masa Grasa	12,13	3,25

Tabla 8. Valores *Phantom* para las variables antropométricas (medias y desviaciones estándar).

3.2 Composición corporal

La composición corporal es un tema de interés común en diversas áreas como son la medicina, la ergonomía, la antropología, el rendimiento deportivo y el crecimiento. Hay mucho interés en medir la composición corporal en relación con la obesidad, o con el exceso de grasa en población general, sin embargo el estudio de otros componentes como la masa muscular cobra importancia en los estudios de bioantropología del deporte.

La composición corporal tiene importancia en la determinación de los requerimientos nutricionales, para monitorear y evaluar terapias médicas o en el manejo y tratamiento de

enfermedades o pacientes hospitalizados, clasificar niveles de obesidad, para dar consejo nutricional al deportista, y para la interpretación del gasto energético [43].

La composición corporal cambia con la edad y presenta diferencias por sexo y etnia [12]. El método que ha sido el patrón “de oro” por mucho tiempo en la determinación de la composición corporal es la densitometría para estimar el porcentaje de grasa en el cuerpo. Es común describir la composición corporal en diferentes niveles, iniciando por la perspectiva química que incluye la descripción del nivel atómico y molecular, desde una perspectiva anatómica que incluye los niveles celular y de tejidos y sistemas hasta llegar finalmente al cuerpo entero. Ahora, el cuerpo entero no es estrictamente un nivel y el nivel atómico y celular no son interesantes, así en la práctica solo quedan dos niveles: el molecular y el de tejido.

En el nivel molecular se puede describir el cuerpo a partir de miles de compuestos los cuales se agrupan en 5 categorías químicas: agua, lípidos, proteínas, carbohidratos (glucógeno en su mayoría) y minerales (principalmente en forma de hidroxapatita). El término lípido puede generar confusión pues son todas aquellas sustancias que no son solubles en agua pero sí en compuestos orgánicos como el éter, pero en el cuerpo humano los triglicéridos son los principales lípidos con una densidad relativamente constante de 0.9g.ml^{-1} .

Existen muchas ecuaciones y métodos para obtener la composición corporal y se pueden clasificar según Martin y Drinkwater (citado en [44]) como: métodos directos, que consisten en diseccionar cadáveres, siendo el único totalmente válido para determinar la composición corporal y no requiere supuestos teóricos; métodos indirectos (llamados métodos “in vivo”), utilizan la medición de un parámetro para estimar otro a partir de supuestos teóricos adecuados, por ejemplo se mide la densidad corporal para estimar la composición corporal, a partir de suposiciones teóricas de una relación cuantitativa entre ambas de forma constante; métodos doblemente indirectos, son ecuaciones derivadas de algún método indirecto, por ejemplo la estimación del contenido lípido corporal a partir de la medida de los pliegues cutáneos (fórmulas bi-compartimentales), estos métodos son muy

populares por su fácil aplicación y bajo costo. Se han reportado hasta 100 fórmulas para estimar la composición corporal con este tipo de metodología [44].

Son pertinentes dos aclaraciones: 1) no hay métodos “in vivo” para estimar el compartimento de grasa corporal, por lo cual siempre se estima indirectamente, por ejemplo, para estimar a nivel molecular el contenido de agua en el cuerpo se usa la dilución isotópica; para estimar el contenido mineral en los huesos, la energía dual de rayos X (DXA); para estimar la cantidad de proteínas, el análisis de activación de neutrones de nitrógeno [12]. 2) En la descripción molecular se puede hablar de masa libre de grasa (FFM por las siglas en inglés), sin embargo fisiológicamente se requiere de unos mínimos esenciales de lípidos para mantener la vida, al compartimento que incluye esta cantidad esencial se le denomina masa magra (LBM) que es el FFM más el esencial de lípidos mencionado. A continuación se describe brevemente el método para estimar la FFM, la cual será necesaria para estimar la Tasa Metabólica en Reposo (ver sección 3.7.2) y la metodología de fraccionamiento de masa corporal de Ross y Kerr [45]. El método de FFM es un método que trata de describir el cuerpo a nivel molecular asumiendo el método de fraccionamiento de masas que supone el peso del cuerpo distribuido en varios compartimentos corporales.

3.2.1 Estimación de la masa libre de grasa

La medida (estimación) de la masa libre de grasa se realiza por medio de la medida de la densidad corporal y suponiendo que la densidad del contenido lípido es de 0,900 g.ml⁻¹ y la del promedio del resto del cuerpo es 1,100 g.ml⁻¹, utilizando el principio de Arquímedes sería posible determinar la cantidad de masa grasa. En [12] se presenta una expresión general para la ecuación de *Siri* la cual depende de la densidad de la grasa (d_f) y la densidad de la masa libre de grasa (d_{ffm}) y la densidad corporal (DC), ambas densidades se suponen conocidas y con el valor antes presentado y se debe medir la densidad corporal para obtener el porcentaje de grasa corporal.

$$\%F = \frac{100d_f d_{ffm}}{d_{ffm} - d_f} \frac{1}{DC} - \frac{100d_f}{d_{ffm} - d_f}$$

Ecuación 3

Donde %*F* es el porcentaje de grasa corporal.

El porcentaje de grasa corporal varía con la edad entre sexo y etnias, como se puede observar en la Tabla 9 reproducida de [12]. Existen diversas críticas a este modelo, sin embargo su utilización brinda información que es la base para otras investigaciones. En el texto *Antropométrica*, capítulo 7 [41] se presenta una colección de fórmulas para estimar la DC a partir de medidas antropométricas, con esta estimación e información de las densidades promedio se puede calcular la masa libre de grasa.

Población (Raza)	Edad	Género	Densidad estimada de FFB (gcc)	Ecuaciones derivadas para la densidad estimada de FFB para predecir el% de grasa.
Afro Americano	9 -17	Femenino	1,088	(521 / Db) – 479
	18 -32	Masculino	1,113	(470 / Db) – 422
	24 -79	Femenino	1,106	(483 / Db) – 437
Caucásico	7 - 12	Masc/ Fem	1,086	(525 / Db) – 484
	13-16	Masculino	1,094	(507 / Db) – 464
		Femenino	1,093	(510 / Db) – 466
	17-19	Masculino	1,098	(599 / Db) – 454
		Femenino	1,095	(505 / Db) – 462
	20 - 80	Masculino	1,100	(495 / Db) – 450
		Femenino	1,097	(501 / Db) – 457

FFB es el cuerpo libre de grasa por sus siglas en inglés. Los valores de densidad de FFB están en gran parte tomados de Heyward y Stolarzyk (1996) y Heyward y Wagner (2004). Las Fórmulas han calculado de forma independiente por los autores a partir de los valores de densidad asumidos FFB [12].

Tabla 9. Algunos valores para la densidad promedio de la grasa y el tejido libre de grasa de acuerdo a la raza, edad y sexo.

3.2.2 Fraccionamiento de la masa corporal en cinco componentes

William D. Ross y Deborah A. Kerr presentan un modelo de fraccionamiento de la masa corporal en cinco componentes: piel, tejido adiposo, músculo, hueso y tejido residual, el cual no recurre a índices, métodos densitómetros y otros modelos basados en suposiciones de constancia biológica; la propuesta recurre a un escalado normativo a partir del sistema de escala-O, partiendo de un individuo de referencia (“*Phantom*”). Este modelo es considerado por los autores como parte del proceso de desarrollo de modelos de composición corporal y no una solución definitiva [45].

La validez del método estaba basada en dos criterios: la capacidad para predecir la masa corporal a partir de los cinco componentes y la concordancia con las masas tisulares

obtenidas por disección de cadáveres. La masa predicha por los cinco componentes se aplica a un amplio espectro de actividades e individuos: hombres, mujeres, viejos y jóvenes en buen o mal estado físico. Como el modelo fraccional de cinco masas se basa en tejidos definidos anatómicamente, podría redefinirse nuevamente con el uso de técnicas anatómicas cuantitativas más avanzadas, sin embargo el método no puede compararse directamente con métodos de determinación de composición corporal definidos químicamente, ya que la grasa por definición química (con una densidad de 0,90 g/ml) no es idéntica al tejido adiposo [45].

3.2.2.1 Definiciones de las fracciones de masa

A continuación se reproducen literalmente las definiciones de cada tejido que define las fracciones de masa corporal en el método de Ross y Kerr [45].

Piel: “masa anatómicamente diseccionable de tejido conectivo, músculo liso, algo de músculo estriado superficial, pelo, glándulas, tejido adiposo asociado, nervios y vasos sanguíneos con sangre coagulada. La piel así definida, es considerada en función de la superficie corporal, el grosor y la densidad de la misma. Datos obtenidos de cadáveres muestran que la superficie de la piel disecada obtenida, es mayor en hombres que en mujeres, respecto a lo esperado, aplicando reglas geométricas teóricas. Se calcularon nuevas variables para las relaciones dimensionales de $M^{0,425}$ y $H^{0,725}$ en la fórmula de superficie de DuBois y DuBois (1916). El grosor de la piel fue estimado a partir de la relación de la masa de la piel obtenida respecto a la superficie de piel disecada, multiplicada por la densidad de piel obtenida. Esta fracción es la única que utiliza el peso corporal obtenido. Mantiene similitud geométrica, por ejemplo, con la suma de exponentes $0,425 + 3*(0,525) = 2$ (que es la dimensión de un área)”.

Tejido adiposo: “tejido separable por disección grosera y que incluye la mayor parte de tejido adiposo subcutáneo, el tejido adiposo omental que rodea a los órganos y las vísceras y una pequeña cantidad de tejido adiposo intramuscular. No es equivalente a la masa de grasa extraíble por éter químicamente, definida en el método densitométrico bicompartamental. En el modelo fraccional, el tejido adiposo fue basado en pliegues cutáneos de las extremidades y los lados del torso, reconociendo que las adiposidades de las

extremidades predominan en las mujeres y las del torso en los hombres. Una subestimación sistemática en las mujeres y una sobreestimación sistemática en los hombres ha hecho pensar que en el uso de pliegues cutáneos y perímetros musculares corregidos puede ser de utilidad para predecir este tejido, si se optimiza la fórmula.”

Músculo: “todo el músculo esquelético del cuerpo, incluyendo tejido conectivo, ligamentos, nervios, vasos sanguíneos y sangre coagulada y una cantidad indeterminada de tejido adiposo no separable físicamente del músculo. Excepto para el perímetro del antebrazo, el músculo fue estimado a partir de perímetros corregidos por el pliegue cutáneo (es decir, sustrayendo al perímetro, $n \times$ el grosor del pliegue cutáneo adyacente, en cm.). En el caso del perímetro del antebrazo no se hizo ninguna corrección porque en la mayoría de protocolos no se incluye la medida del pliegue cutáneo adyacente.”

Hueso: “tejido conectivo, incluyendo cartílago, periostio y músculo que no hayan podido ser completamente eliminados por raspado; nervios, vasos sanguíneos con sangre coagulada y lípidos contenidos en la cavidad medular. Los diámetros biacromial y biiliocrystal están incluidos, ya que son indicadores importantes del dimorfismo entre hombres y mujeres (Ross y Ward, 1982). Los diámetros del fémur y el húmero se duplican para que representen a las dos extremidades. Dado que los niños tienen una cabeza relativamente ancha, una escala por alturas de la medida de la cabeza se determinó independientemente al resto de la masa del esqueleto, basándose en la escala *Phantom* de perímetros de cabeza (no corregida por la estatura)”

Masa de tejido residual: “órganos vitales y vísceras consistentes en tejido conectivo, nervios, vasos sanguíneos con sangre coagulada y tejido adiposo que no pudo ser físicamente diseccionado de los órganos del tracto gastrointestinal (excluyendo la lengua que se considera parte de la masa muscular de la cabeza), los órganos sexuales, remanente del mesenterio, el tracto bronquial, los pulmones, el corazón y los vasos mayores y todos los tejidos restantes y los fluidos no incluidos en las otras cuatro fracciones. La suposición básica es que la masa de tejido residual llena la cavidad del tórax y pelvis, en volumen. Ya que ésta es independiente de la longitud de extremidades, los valores *Z* de *Phantom* fueron relacionados a la talla sentado y no a la estatura.”

El método de cálculo a partir de las variables antropométricas de las fracciones de masa presentada por Ross y Kerr se reproduce en la sección 4.6.

3.3 Índices Corporales (IMC, IFC e IP)

El índice de masa corporal (IMC) es un parámetro que se ha utilizado como patrón para determinar la adiposidad en población general, lo cual genera resultados muy desajustados. La razón de esto es que el índice se desarrolló para estudiar poblaciones bastante homogéneas con una distribución bastante estrecha de alturas en la curva de distribución gaussiana [46]. Las desviaciones son difíciles de detectar en poblaciones aunque afectan de forma marcada a individuos que están en los extremos de la curva gaussiana. En el artículo de López *et al.*(2005) [46] se presenta una discusión teórica que soporta la propuesta de utilizar para estimaciones de la adiposidad, los índices de Ponderal (IP) y de Rohrer, que son índices homólogos al IMC por derivarse de un planteamiento alométrico similar aunque muestran mejores resultados en la clasificación de la variabilidad entre sujetos.

El IMC se define como el cociente entre el peso (P) y la estatura (h) al cuadrado:

$$IMC = \frac{P}{h^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

Su uso está ampliamente extendido debido a su simplicidad y al éxito en poblaciones leucodermas² con estaturas de 1,6 m a 1,8m, con las cuales presenta una buena correlación con la variación de la grasa corporal [46]. En niños y adolescentes se presentan desviaciones respecto a la clasificación de la adiposidad debidas al porcentaje de grasa corporal, al igual que se presentan diferencias entre poblaciones leucodermos y xantodermos no reflejadas adecuadamente en IMC [46]. Podemos estudiar la dimensionalidad de la misma obteniendo lo siguiente:

² Corresponde a una de las categorías de clasificación racial de H. V. Vallois que establece cuatro grupos raciales primarios: australoide, leucodermo, melanodermo y xantodermos.

$$IMC = \frac{P}{h^2} = \frac{V * d}{h^2} = \left[k * \frac{L^3}{L^2} \right] = [k * L]$$

Ecuación 5

El IMC es función de la dimensión altura (L), siendo directamente influida por esta, por lo cual el índice es inadecuado para comparar personas de estaturas muy diferentes, por lo cual es poco adecuado para niños o adolescentes o etnias con medias de tallas o formas corporales significativamente diferentes de la población leucoderma donde se definió originalmente. Una presentación más detallada de las desviaciones en la estimación de la adiposidad a partir del IMC se encuentran en [46]. Solo recientemente se ha empleado en salud pública el IMC para niños y adolescentes a partir del supuesto de que su diagnóstico debe basarse en las curvas de crecimiento del IMC [47]

En su lugar, el índice de Rohrer y el IP presentan una relación con la cantidad de grasa que no se ve afectada por la altura que genera constricciones por edad, sexo o etnia. El IFC se define como:

$$IFC = \frac{P}{h^3}$$

Ecuación 6

y el IP como:

$$IP = \frac{h}{P^{2/3}}$$

Ecuación 7

En el presente trabajo se aprovechará el tener un perfil antropométrico completo para comparar la estimación de grasa corporal utilizando el IMC y el IFC y la obtenida por el fraccionamiento de la masa corporal.

El sustento teórico para privilegiar el índice de forma corporal (IFC o índice de Rohrer) se puede esbozar así: la relación entre un rango de peso corporal y la forma del cuerpo se mantiene debido a la relación alométrica; cuando un parámetro de longitud (L) cambia, como la altura o el largo de un hueso, cambian los parámetros asociados con el área superficial (L²) y el volumen (L³) ya que éstas dimensiones varían proporcionalmente a sus

exponentes. El peso es función del volumen a través de la densidad (d): $P=V*d$, por ello el peso es función de L^3

Una de las limitaciones del IMC es que no distingue entre masa adiposa y masa muscular, por lo cual la valoración de sobrepeso puede deberse tanto al aumento de la masa grasa como al aumento de la masa muscular y ósea, llegando a considerar obesos a individuos deportistas con un alto desarrollo muscular, esto es debido al supuesto erróneo de considerar todo exceso de peso, de acuerdo a las tablas de IMC, como peso graso. En un trabajo de 2004 se ha encontrado que el índice de masa corporal, analizado independientemente del sexo, se correlaciona con el peso muscular más fielmente, seguido de una correlación inversa con el porcentaje óseo y en menor medida con el porcentaje graso en deportistas de alto rendimiento [48], lo que concuerda con estudios previos (1998) en los cuales se estudian los índices peso – talla como indicadores de masa muscular en adultos[49], en este estudio no se utilizan métodos antropométricos para estimar la masa grasa, ya que en sus ecuaciones la talla es una variable predictiva y podría sesgar la relación entre masa muscular y los índices. El escollo del sesgo por la talla, que también predice el IMC, se puede resolver al estudiar la suma de los pliegues cutáneos, estrategia usada por algunos autores [48].

3.4 Somatotipo

La clasificación de los seres humanos por su apariencia física de acuerdo a tipos o biotipos es una práctica muy antigua, dentro de la cual por su importancia histórica se podría destacar la clasificación de Hipócrates, la cual consistía en dos tipos de sujetos: los Tísicos o delgados y los Apopléticos o musculosos. A partir del siglo XVII empiezan a aparecer diferentes escuelas biotipológicas con distintos criterios de carácter somatotípico, psíquico o somático-psíquico [50]. Desde esta perspectiva histórica se evidencia cómo la actual metodología del somatotipo es producto de varios siglos de desarrollo e investigación en relación con la forma humana y la composición.

Durante el siglo XX, en 1940, aparece el método fotoscópico de Sheldon *et al.*, el cual fue modificado posteriormente por Heath y Carter en 1967 [50]. Sheldon desarrolló su método a partir de la toma de 3 fotografías en tres planos diferentes y sobre estas fotografías

tomaba 17 medidas. El desarrollo del método se realizó con una muestra inicial de 4000 individuos. Se cuantifica el cuerpo humano respecto a tres componentes básicos: grasa, músculo y linealidad, los cuales son expresados por tres cifras, cada componente se mide en una escala de 7 puntos. La base sobre la cual se definieron los componentes de esta tipología son las tres capas embrionarias: Endodermo, Mesodermo y Ectodermo y por eso se denominaron endomorfia, mesomorfia y ectomorfia, por ser descriptores de formas provenientes de las capas embrionarias. La capa Endodermo origina órganos como el tubo digestivo, la vejiga urinaria, el aparato respiratorio y la próstata; la capa Mesodermo origina el corazón, la musculatura y el esqueleto; capa Ectodermo origina el sistema nervioso central, la piel, la retina y los músculos del iris [51], [52].

Sheldon consideraba que el somatotipo era producto de la carga genética y que no era modificable de forma exógena por factores como la actividad física, la alimentación o la influencia ambiental. Carter y Heath consideran el somatotipo desde una perspectiva fenotípica y no genotípica, representado en tres componentes, cada uno en una escala abierta, en la cual a partir del valor 7 se considera extremadamente alto, y cuyas medidas se obtienen por antropometría [12], aunque también se puede usar fotografía o antropometría y fotografía simultáneamente, Carter y Heath subrayan que el método antropométrico es el más útil [53] por su mayor repetibilidad

Los tres componentes se pueden describir así: la ectomorfia es relativa a la linealidad o delgadez del cuerpo, la descripción física correspondiente a un relativo estiramiento del cuerpo con apariencia de fragilidad y carencia de músculo o grasa; la mesomorfia es relativa a la robustez musculo esquelética, la descripción física corresponde a aspectos de solidez aparente del cuerpo en términos de músculo o hueso, el volumen de la caja torácica y la masa muscular; y la endomorfia es relativa a la grasa corporal independiente de su distribución, la descripción física corresponde a aspectos como la redondez de las formas, la suavidad de los contornos, el volumen relativo de la caja torácica y el estrechamiento distal de las extremidades [12]. Las descripciones de las tres componentes de forma conjunta: endomorfia, mesomorfia, y ectomorfia reflejan el somatotipo y a la vez recuerdan un modelo anatómico de la composición corporal.

(El método de cálculo del somatotipo se presenta en el apartado 4.4)

3.4.1 Método de análisis

Se podría considerar cada valor del somatotipo por separado y tratarlo como cualquier otra variable biológica usando estadística descriptiva e inferencial, sin embargo la fuerza del método está en la combinación de los tres valores. Dos personas podrían tener el mismo valor en un componente pero su tipo corporal ser muy diferente, por ejemplo un individuo A tiene componentes: 2-2-6 y un individuo B: 2-6-2, a pesar de tener el mismo valor de endomorfía sus tipos son muy diferentes.

Se han desarrollado metodologías que aprovechan la fortaleza de la descripción de los tres componentes para realizar análisis individual y análisis de grupo. Una primera aproximación al análisis conjunto de los componentes del somatotipo es la determinación de las 13 categorías en función de las áreas de la somatocarta. En la Tabla 10 se presentan las trece categorías, asociadas con las áreas representadas en la Figura 3.

central	Ningún componente diferente en más de una unidad con respecto a los otros dos, resultante en valor de 2, 3, o 4
Mesomorfo balanceado	El mesomorfismo es dominante y el endomorfismo y ectomorfismo son iguales (no difiere en más que 0.5)
Endomorfo balanceado	El endomorfismo es dominante y el mesomorfismo y ectomorfismo son iguales (no difieren en más que 0.5).
Ectomorfo balanceado	El ectomorfismo es dominante; el endomorfismo y el mesomorfismo son iguales y menores (o no difieren en más que 0.5)
Endomorfo-mesomorfo	El endomorfismo y el mesomorfismo son iguales (no difieren en más que 0.5), y el ectomorfismo es menor.
Ectomorfo-mesomorfo	El ectomorfismo y el mesomorfismo son iguales (no difieren en más que 0.5), y el endomorfismo es menor.
Ectomorfo-endomorfo	El endomorfismo y el ectomorfismo son iguales (o no difieren en más que 0.5), y el mesomorfismo es menor.
Meso-endomórfico	El mesomorfismo es dominante y el endomorfismo es mayor que el ectomorfismo.
Endo-mesomórfico	El endomorfismo es dominante y el mesomorfismo es mayor que el ectomorfismo.
Ecto-mesomórfico	El ectomorfismo es dominante y el mesomorfismo es mayor que el endomorfismo
Meso-ectomórfico	El mesomorfismo es dominante y el ectomorfismo es mayor que el endomorfismo
Endo-ectomórfico	El endomorfismo es dominante y el ectomorfismo es mayor que el mesomorfismo
Ecto-endomórfico	El ectomorfismo es dominante, y el endomorfismo es mayor que el mesomorfismo

Tabla 10. Categorías de los somatotipo, basadas en las 13 áreas de la somatocarta (ver Figura 3) [53]

Además de las categorías se dispone de herramientas para el análisis individual: Distancia de Dispersión del Somatotipo (SDD por sus siglas en inglés) y la Distancia morfogenético del somatotipo (SAD por las siglas en inglés de: *Somatotype Attitudinal Distance*). El SDD compara el somatotipo individual con un somatotipo de referencia por medio de una

ecuación ($SDD = \sqrt{(3(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}$ sección 4.4) que compara los valores “X” y “Y” de la somatocarta, si el valor obtenido es mayor de 2 se considera que hay diferencias significativas, el SAD toma las diferencias por separado de cada componente del somatotipo dando una magnitud de estas pero no existe un valor preestablecido que indique una diferencia significativa (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.** sección 4.4).

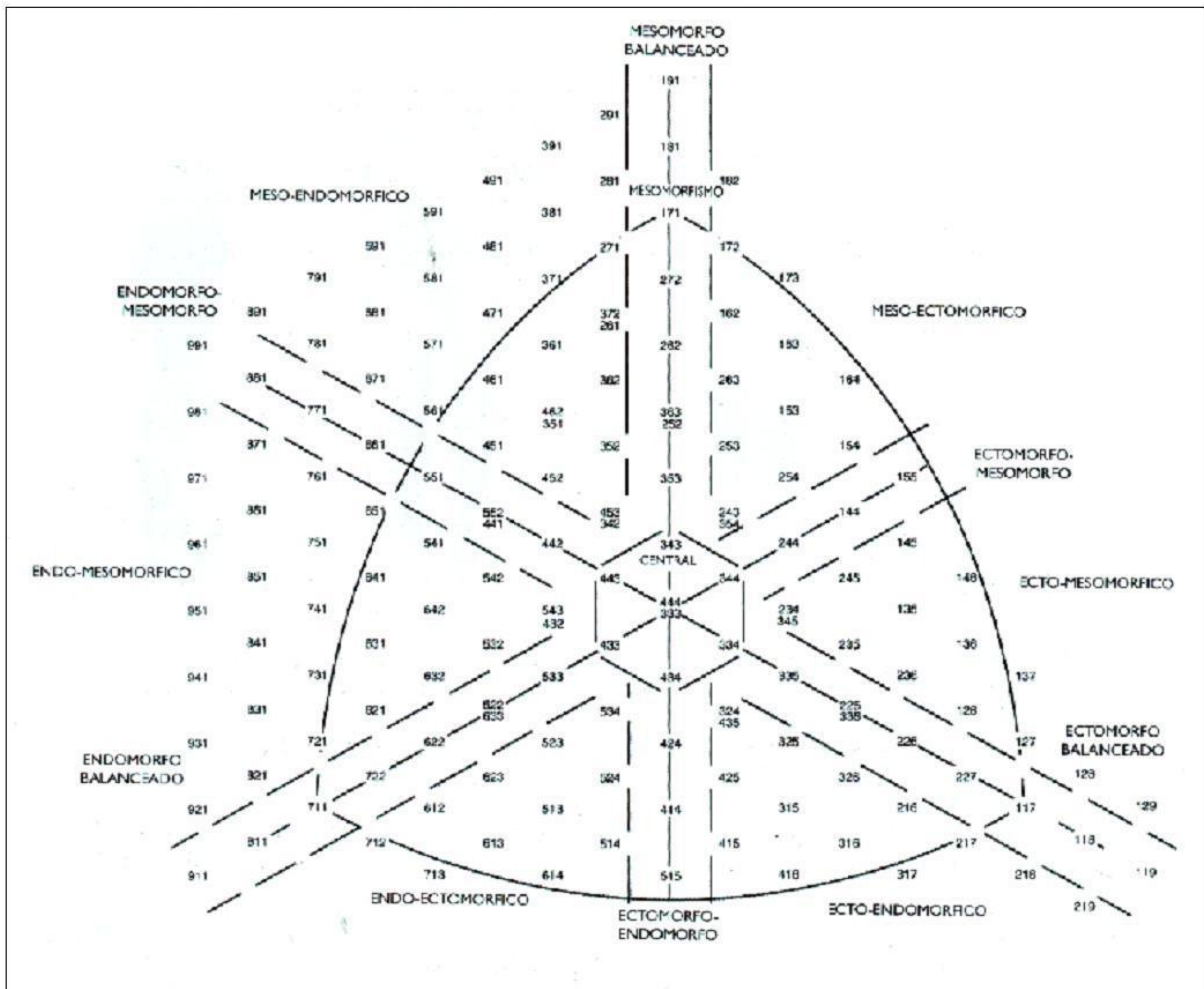


Figura 3. Áreas de las trece categorías del somatotipo. Los nombres de cada área se pueden ver en la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Reproducido de [41].

Para el entrenamiento deportivo existe una propuesta de aplicación a partir del análisis del SDD y de cada componente individual, la estrategia de De Rose y Guimaraes propone un algoritmo para guiar el proceso y se puede observar en la Figura 5 tomada de [11]. Para el

análisis de grupo se utiliza el índice de dispersión del somatotipo (SDI) que corresponde a la media de las distancias de dispersión del somatotipo (SDD) de los individuos del grupo estudiado respecto a un somatotipo de referencia (sección 4.4). Este informa de la homogeneidad de la muestra, si el valor del SDI es mayor que dos entonces existen diferencias significativas en el somatotipo de los individuos estudiados. La distancia de dispersión de los somatotipo medios (SDD_{SM}) en este caso se compara las coordenadas “X” y “Y” entre dos grupos, el concepto es similar al de SDD pero calculado para los somatotipos medios y de igual forma si el valor obtenido es mayor de dos existen diferencias significativas entre ambos grupos. Finalmente se tiene la dispersión morfogenética del somatotipo (SAM) que da información sobre la homogeneidad del grupo, cuanto mayor es el SAM menos homogéneo es el grupo y el índice de superposición, el cual consiste en graficar en la somatocarta el somatotipo medio y construir con centro en este un área cuyo radio es igual al SDI (La esfera queda representada como una elipse en la somatocarta) y determinar si hay alguna superposición entre dos grupos, en la Figura 4. Ejemplo del método de superposición para determinar semejanzas entre dos somatotipo medios se reproduce un ejemplo tomado de [51].

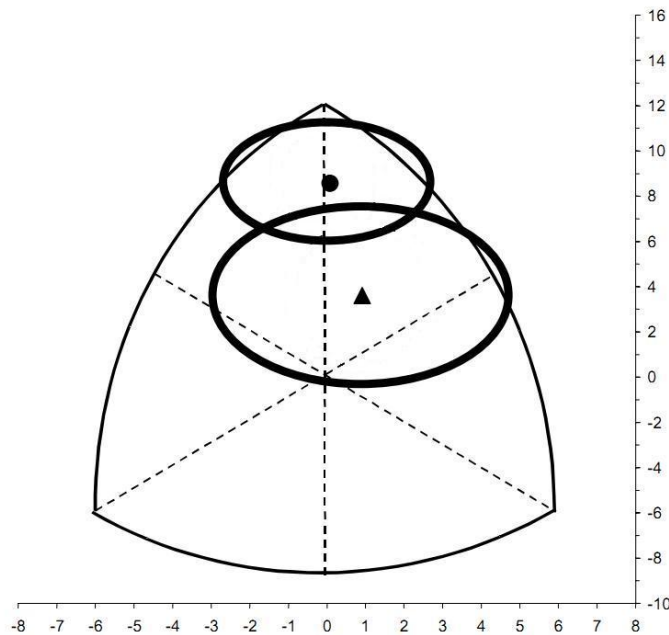


Figura 4. Ejemplo del método de superposición para determinar semejanzas entre dos somatotipo medios. Adaptado de [51].

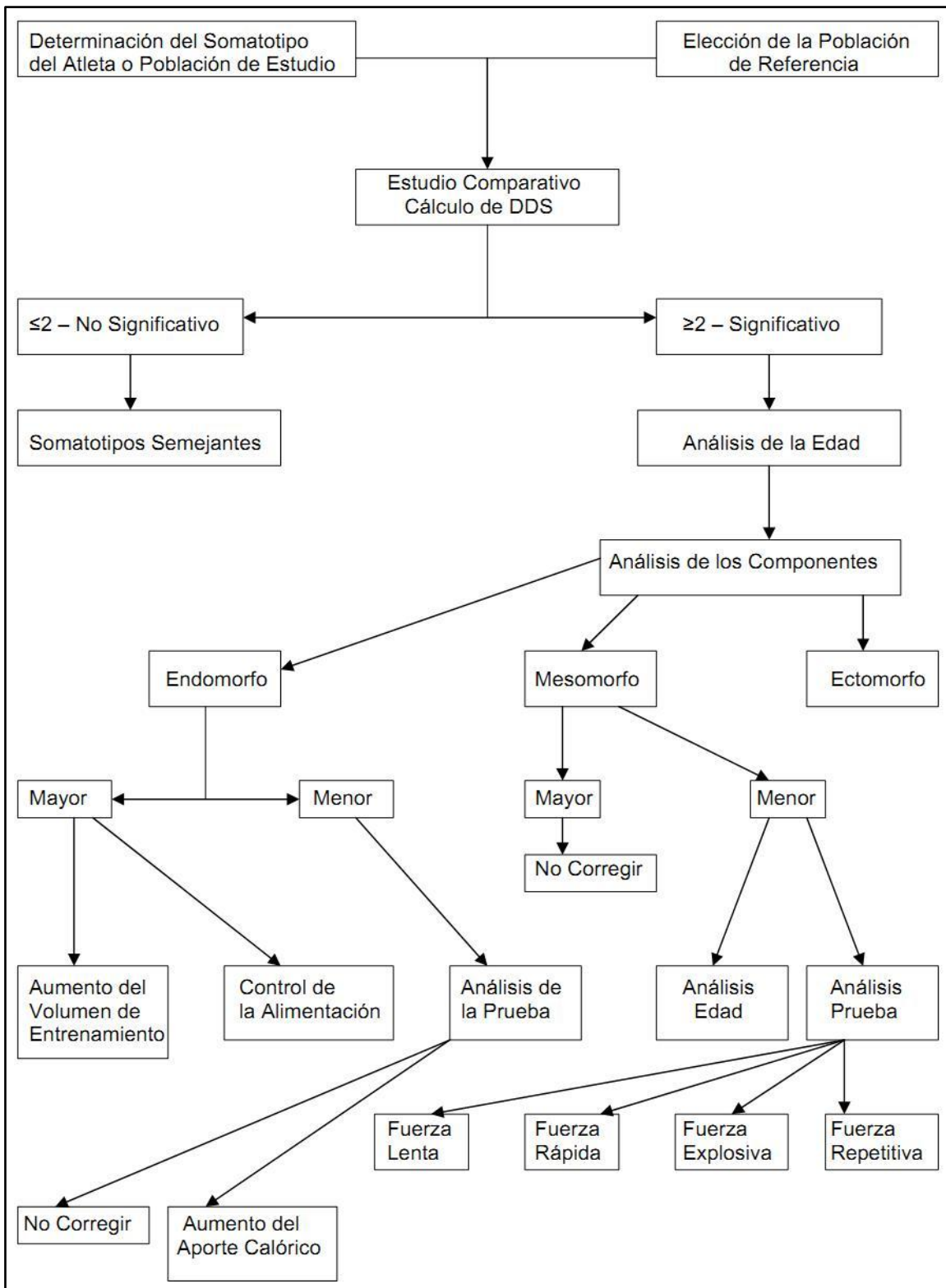


Figura 5. Algoritmo propuesto por De Rose y Guimaraes en 1980 para orientar el entrenamiento de acuerdo al análisis individual del somatotipo. Reproducido de [11]

3.5 Metabolismo y gasto energético

El balance energético se puede entender como la relación entre la energía que ingresa al organismo a través de los alimentos y la energía total que es consumida por el organismo y se define matemáticamente como la resta de energía consumida de la energía que ingresa al cuerpo. Cuando el balance es positivo indica que el organismo ha recibido más energía de la que consume, por lo cual esta es almacenada y se presenta obesidad, cuando este balance es negativo indica que el organismo consume más energía de la que recibe presentándose desnutrición y otras patologías asociadas. Para realizar el balance además de conocer el gasto energético se requiere cuantificar la energía de los alimentos consumidos por los individuos, dicho estudio no se realiza en el presente trabajo al carecer de información sobre la dieta de los jugadores medidos.

El gasto energético total puede ser analizado considerando sus componentes: Tasa Metabólica en Reposo, Tasa Metabólica Basal, efecto térmico de los alimentos, actividad física, termorregulación y otros. En el siguiente apartado se presentan estos componentes asociados con la energía en los seres vivos.

La unidad de medida de la energía es la caloría (cal). Una kcal es la unidad de medida de energía más utilizada en áreas biológicas, es la abreviatura de kilocaloría (1000 calorías), la caloría se define como la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua pura de 14,5°C a 15,5°C a una atmósfera de presión. La kcal equivale a 4,1868 kJ; el Joule (J) es la unidad de energía de acuerdo al Sistema Internacional de Medida (un kJ=1000J).

3.5.1 La energía en los seres vivos

Para determinar experimentalmente los cambios de energía interna en los organismos vivos se utiliza la calorimetría, este método se fundamenta en que los organismos vivos son sistemas termoquímicos que funcionan a temperatura y presión constantes, y el volumen prácticamente no cambia. Para un sistema con estas características de acuerdo a la primera ley de la termodinámica, el cambio de energía interna del organismo será igual a la producción de calor, es decir: casi toda la energía que se transforma en los animales se

elimina en forma de calor y corresponde exactamente a la energía que se libera en el proceso de oxidación de los productos alimenticios [54].

Los primeros estudios que buscaban medir la energía interna de los vertebrados fueron realizados por Lavoisier y Laplace (siglo XVIII), ambos propusieron un método indirecto para medir el efecto calórico en organismos vivos, este consistía en calcularlo a partir del intercambio de gases, el cual evidenciaría el efecto calórico de la oxidación de carbohidratos hasta llegar a CO_2 y H_2O , para ello usaron una bomba calórica. Sus trabajos se cimentan en la analogía de la respiración como una combustión lenta [55].

A principios de siglo XX fue elaborado un método de calorimetría directa que consistía en medir el calor total de un animal, el calor de las excreciones, la urea y los gases O_2 y CO_2 , y analizando los efectos térmicos de oxidación de las proteínas, grasas y carbohidratos. Además, se pudo constatar que los datos obtenidos por calorimetría indirecta y directa tenían una buena concordancia [55].

La eficiencia mecánica del cuerpo humano es alrededor del 20%, en el mejor de los casos (se ha reportado hasta un 25% o 30%), lo cual significa que de la energía consumida para realizar un trabajo físico solo una cuarta parte se convierte en trabajo útil y el resto se pierde en forma de calor [56]. Es necesario aclarar que del total del cambio de la energía interna del organismo, producida por la oxidación de los alimentos, toda se elimina en forma de calor, pero de la porción de energía gastada en una actividad, solo una fracción es aprovechada para la actividad y el resto se pierde.

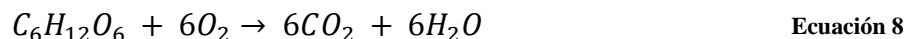
3.5.2 Valor calórico de los alimentos

Desde los antiguos griegos se asocia la vida con un fuego interno, con el calor animal, y desde entonces se formularon preguntas en relación con este fuego asociado a las teorías de los cuatro elementos griegos. Pero es en el siglo XVIII, cuando se empieza a desentrañar esta cuestión sentándose las bases científicas del metabolismo energético. Uno de los pasos dados en esta dirección es la ya mencionada bomba calórica, cuyo principio de funcionamiento se presenta a continuación.

En una bomba calorimétrica se quema una cantidad determinada de un alimento, y se mide el calor producido por esta combustión, dicho calor es el equivalente de la energía potencial de dicho alimento, se ha verificado que en general el calor encontrado en la bomba es muy parecido a los obtenidos en los seres vivos. La combustión de una mezcla de carbohidratos (mono y polisacáridos), mezcla similar a la de la ingesta, presenta valores de 4,1kcal por gramo de carbohidratos, de forma similar un gramo de grasa natural proporciona 9,3 kcal y un gramo de proteína produce un promedio de 5,6 kcal. Sin embargo, las proteínas solo proporcionan 4,1 kcal por gramo, en condiciones fisiológicas, debido a que no se oxidan por completo y parte de ellas son excretadas en forma de urea (NH₂)₂CO producto no totalmente oxidado [16].

La combustión de cualquier sustancia se presenta en presencia de oxígeno, la reacción produce calor y una sustancia oxidada, en particular los carbohidratos y las grasas naturales libran con el calor el CO₂. La relación entre la cantidad de combustible utilizado y el oxígeno requerido para la reacción recibe el nombre de coeficiente respiratorio y se define como la relación numérica obtenida al dividir el volumen de bióxido de carbono producido en una reacción, entre el volumen de oxígeno empleado para llevarla a cabo [16].

Los carbohidratos se oxidan de acuerdo con la ecuación general:



A la relación estequiométrica entre CO₂ y O₂ se le asigna el nombre de coeficiente respiratorio (CR), ya que este puede ser asociado con el intercambio gaseoso. Para el caso de este carbohidrato la relación estequiométrica será:

$$CR = \frac{[CO_2]}{[O_2]} \quad \text{Ecuación 9}$$

El valor del coeficiente respiratorio está relacionado con la dieta, al depender del tipo de sustrato que se oxida, así para las grasas como la trioleína: C₅₇H₁₀₄O₆ + 80 O₂ → 57 CO₂ + 52 H₂O, el coeficiente será 57/80=0,71, para proteínas

0,80 y para una dieta mixta, en la que se encuentran los tres tipos de macronutrientes, el valor del coeficiente respiratorio será 0,82.

3.5.3 Valor calórico del oxígeno

Es posible asociar al oxígeno un equivalente calórico, es decir un valor de energía relacionado pues al oxidar carbohidratos hasta CO_2 y H_2O , se producen aproximadamente 5,0 Kcal por cada litro de oxígeno utilizado. Al oxidar grasas, un litro de O_2 sirve para la producción de 4,68 kcal y cuando se trata de la combustión de la proteína, el valor calórico del O_2 es de 4,48 Kcal. por litro, en una dieta mixta la cantidad de energía, o valor calórico, por litro de oxígeno, de 4,825kcal [16]. Este es el fundamento del uso del consumo de oxígeno como medida de calorimetría.

3.5.4 Metabolismo Basal

La tasa de metabolismo basal es uno de los componentes más importantes del gasto energético total, y representa la cantidad de energía asociada a las funciones orgánicas básicas como la respiración, la circulación de la sangre, y el metabolismo intermedio de los tejidos. Dicha energía es obtenida de las reservas acumuladas en el organismo. En general el metabolismo basal es cerca de la mitad del gasto energético normal para un individuo adulto sano en condiciones normales. La medida del metabolismo basal exige que el organismo esté en unas condiciones específicas denominadas basales: reposo físico y mental y ayuno por lo menos de 14 horas, la medida se realiza a condiciones de confort con temperaturas de 20°C [16].

Se ha establecido que los valores de la tasa de metabolismo dependen de un factor constante como la superficie corporal, indicándose la cantidad de calorías producidas por metro cuadrado y por hora (ver Tabla 13). En estado normal para hombres jóvenes adultos entre 20 y 30 años de edad, las cifras normales de metabolismo basal están alrededor de 40 kcal por metro cuadrado por hora equivalentes a 8,31 kcal de oxígeno por metro cuadrado por hora [16].

El metabolismo basal depende de numerosos factores en particular del sexo, la talla, el peso, la composición corporal, la edad y el equilibrio hormonal, por lo cual dicha tasa es de

interés en el ámbito médico al reflejar un estado normal del organismo. También se ha reconocido la existencia de ritmos estacionales y una influencia del clima [57], adicionalmente el estado nutricional también puede afectar el valor de la tasa metabólica basal [58] al igual que la etnia, en relación con la composición corporal [59], [60].

3.5.5 Tasa de metabolismo en reposo

Sin embargo, la medición del metabolismo basal presenta dificultades, ya que no es siempre posible someter al sujeto estudiado a las condiciones que requiere la medida de este, es por esto que se ha recurrido a medir el metabolismo en reposo, el cual “puede ser medido en cualquier momento del día, en decúbito supino o sentado, varias horas después de la última comida o de una actividad física significativa” [61]. El metabolismo en reposo es ligeramente más alto que la tasa metabólica basal al estar el sujeto en condiciones ligeramente alejadas del estado basal, en algunas ocasiones se consideran equivalentes las tasas en reposo y basal al presentarse diferencias pequeñas entre estas y considerando la conveniencia de la medida de la tasa de metabolismo en reposo.

3.5.6 La actividad física

Otro componente importante del gasto energético total es el asociado con la actividad física, este es el componente más variable y depende del nivel y del tipo de actividad física del sujeto. “El trabajo muscular representa la actividad aislada más importante para determinar la producción de calor en los seres humanos” [16]. En la siguiente tabla se presentan algunos valores promedio de acuerdo a la actividad física [16]:

Gasto calórico y actividad	Kcal/h
Ocupaciones sedentarias	
Escribir a mano	20
Escribir a máquina	30
Coser a máquina	45
Moderadamente activas	
Manufactura de zapatos	90
Carpintería	140
Activas	
Herrería	300
Cantería	300
Muy activas	
Minería	320
Aserradero	380

Tabla 11. Gasto calórico por actividad [16]

Empleado de oficina	kcal
24 horas de “procesos fisiológicos”	1900
8 horas de actividades habituales	400
8 horas de escritura a máquina y hacer apuntes	240
Requerimiento diario total	2540
Herrero	
24 horas de “procesos fisiológicos”	1900
8 horas de actividades habituales	400
8 horas de trabajo de herrería	2400
Requerimiento diario total	4700

Tabla 12. Ejemplo de estimación de gasto energético de acuerdo a la actividad [16]

3.5.7 Actividad física y consumo de oxígeno

Cuando el ser humano se encuentra realizando una actividad física el consumo energético aumenta, implicando esto un aumento en la generación de calor y en el consumo de oxígeno. Se ha establecido que el consumo de oxígeno \dot{V}_{O_2} , es el parámetro medible que aporta información sobre el estado metabólico en un momento dado. Toda la energía que requiere el organismo para su sostenimiento y que nos permite realizar diversos trabajos proviene de los alimentos cumpliendo su papel de combustible el cual es consumido en presencia de oxígeno (comburente) para generar ATP. Todos los procesos vitales se realizan gracias al ATP que es la fuente energética de todas las células, este consumo de ATP genera resultados medibles como son: el trabajo, el calor, y desechos metabólicos CO_2 y H_2O . De aquí se desprende porqué la medida del consumo de oxígeno nos da información sobre el estado metabólico en un momento dado. Sin considerar el aporte de proteínas podemos representar esta idea con el siguiente gráfico:

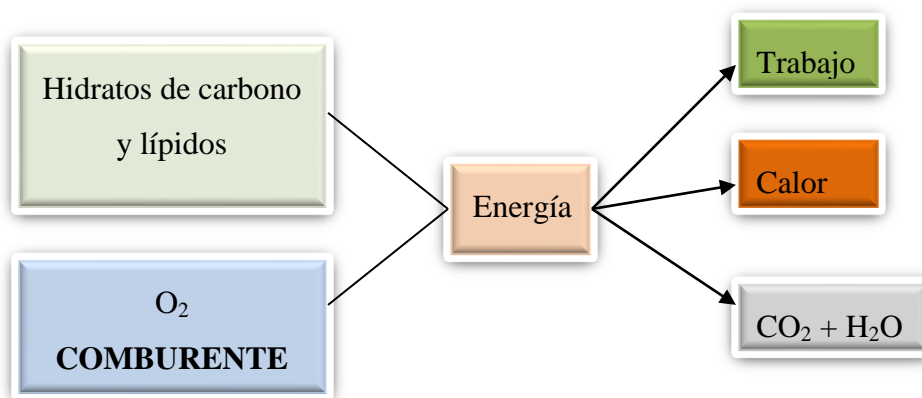


Figura 6. Representación del flujo de energía en el organismo, no se representa la acumulación.

3.6 Medición del Gasto Energético

Una adecuada diferenciación de los componentes del gasto metabólico permite establecer procedimientos para su medida, a continuación se presentan los métodos para cuantificar las tasas metabólicas, la suma de cada uno de estos componentes es el gasto energético total

3.6.1 Tasa de metabolismo basal (TMB) y tasa de metabolismo en reposo (TMR)

En estado basal el consumo promedio de un individuo adulto es de alrededor de 1kcal/min (1440 kcal/día), que sería casi equivalente al consumo de una bombilla de 75W [58]. Este consumo de energía en estado basal es producido por la actividad básica de los órganos, de los cuales el cerebro es el que presenta un consumo más constante representando el 19% de las calorías basales, dicho consumo permanece durante diferentes horas del día, independiente de si se está jugando practicando ejercicio moderado, o realizando actividades intelectuales. Los otros órganos que representan un consumo importante son el riñón (7%), el corazón (10%), el hígado y otras viseras (30%) – ver Figura 7. Es de resaltar que el músculo en reposo consume cerca del 18% restante, y durante el ejercicio este consumo de oxígeno aumenta de 10 a 20 veces, lo que se reflejará en un aumento del gasto energético debido a los músculos.

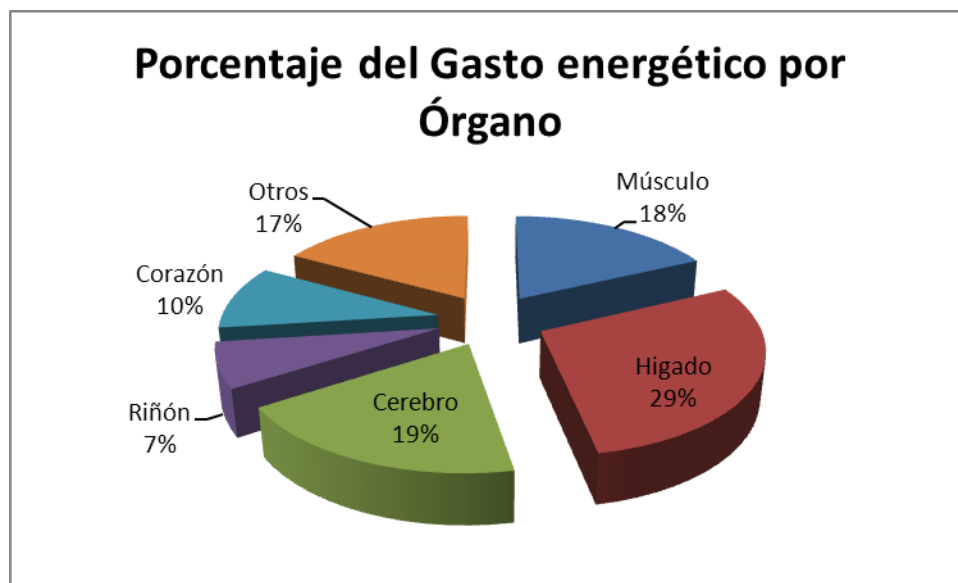


Figura 7. Gráfica del porcentaje de gasto energético por órgano.

El metabolismo basal (MB) se relaciona con diversas variables biológicas, teniendo una estrecha correlación positiva con la masa magra o masa activa. Durante el ayuno prolongado se presenta una reducción del MB en parte por la reducción de la masa magra, sin embargo en los dos primeros días del ayuno se eleva ligeramente la TMB, lo que se explica por el incremento temporal de ATP para poner en marcha diversas rutas metabólicas y un aumento de los equivalentes energéticos del ATP, después del tercer día de ayuno los valores de la TMB caen por debajo de los observados para situación basal de ayuno matinal [58].

La determinación del metabolismo basal por medio de colorimetría exige aparatos delicados y complicados. En la práctica se calcula la pérdida calorimétrica midiendo el consumo de oxígeno, la liberación de CO₂, si se desea valores exactos, se mide la cantidad de urea eliminada por la orina para tener información del metabolismo de las proteínas. Para calcular el metabolismo basal se han propuesto numerosos valores estándar, siendo uno de los más usados el de Harris y Benedict en el cual se relacionan la edad, el peso, la talla y el sexo:

$$\text{Hombres: TMB} = 66 + (13,7 \text{ peso en Kg}) + (5 \text{ talla cm}) - (6,8 \text{ edad años}) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Mujeres: TMB} = 66 + (9,6 \text{ peso en Kg}) + (1,8 \text{ talla cm}) - (4,7 \text{ edad años}) \quad \text{Ecuación 11}$$

En condiciones de malnutrición crónica o anorexia se ha demostrado que el cálculo de Benedict sobrevalora la TMB, siendo inferior el medido que el calculado por la fórmula. Actualmente se piensa que si bien la adaptación al ayuno, llevada en parte por la reducción de eficacia de la función tiroidea explican la reducción del consumo metabólico, es la reducción de la masa celular activa, la masa magra, la principal determinante de la reducción de la TMB [58].

Las ecuaciones Ecuación 10 y Ecuación 11 de Benedict no estiman bien las tasas metabólicas de personas obesas, para estas Mifflin *et al* han obtenido las siguientes tasas de metabolismo en reposo [62]:

Mujeres: $TMR = -161 + 10(\text{peso en kg}) + 6.25(\text{talla en cm}) - 5(\text{edad}),$

Ecuación 12

$$n = 247$$

Hombres: $TMR = 5 + 10(\text{peso en kg}) + 6.25(\text{talla en cm}) - 5(\text{edad}),$

Ecuación 13

$$n = 247$$

3.6.2 Medida del Metabolismo Basal por medio de calorimetría indirecta

La obtención del metabolismo basal de forma experimental midiendo el intercambio gaseoso se puede hacer por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\dot{E} = 4,825 \cdot \dot{V}_{O_2}$$

Ecuación 14

Si solo se mide el consumo de oxígeno (Ecuación 14) y asumiendo la relación entre la producción de dióxido de carbono (\dot{V}_{CO_2}) y el consumo de oxígeno (\dot{V}_{O_2}) como 0.82 (CR), si se mide el consumo de oxígeno y la liberación de dióxido de carbono (Ecuación 15 y Ecuación 16):

$$\dot{E} = 3,941 \cdot \dot{V}_{O_2} + 1,106 \cdot \dot{V}_{CO_2}$$

Ecuación 15

$$\dot{E} = 3,78 \cdot \dot{V}_{O_2} + 1,16 \cdot \dot{V}_{CO_2}$$

Ecuación 16

Si se tiene en cuenta también el catabolismo protéico (Ecuación 17):

$$\dot{E} = 3,941 \cdot \dot{V}_{O_2} + 1,106 \dot{V}_{CO_2} - 2,17 \cdot \dot{H}_N$$

Ecuación 17

$$\dot{E} = 3,78 \cdot \dot{V}_{O_2} + 1,16 \dot{V}_{CO_2} - 2,98 \cdot \dot{H}_N$$

Ecuación 18

Las ecuaciones Ecuación 15 y Ecuación 17 utilizaron los valores calóricos de Loewy, y las ecuaciones Ecuación 16 y Ecuación 18 los de Rubner. Durante la medición del metabolismo se debe tener presente el importante hecho de que las proteínas en condiciones

fisiológicas no aportan toda su energía potencial calórica, por lo cual en las ecuaciones Ecuación 17 y Ecuación 18 aparece un término de corrección. Mediante la medición del N excretado en orina podemos deducir la cantidad de proteína utilizada como material calórico y sustraer la cantidad equivalente de O₂ y CO₂ producido y obtener así el CR no proteínico (CRnoP) [63]:

$$CRnoP = \frac{V_{CO_2} - (4,88 \cdot NUg)}{V_{O_2} - (6,03 \cdot NUg)} \quad \text{Ecuación 19}$$

Todas estas ecuaciones y la medida de los volúmenes de O₂ y CO₂ permiten calcular tanto el gasto calórico durante una actividad como el metabolismo basal, dependiendo de las condiciones del estudio. Pero, como se ha mencionado, para calcular la tasa de metabolismo basal, las condiciones necesarias a las que se debe someter al sujeto estudiado son difíciles de cumplir en muchos casos, por esto se recurre a la evaluación de la tasa metabólica en reposo, que se fundamenta en los mismos principios y cuya medición se realiza con el mismo equipo instrumental. La tasa de metabolismo en reposo es mayor que la de metabolismo basal alrededor de un 10% [64], algunos autores reportan valores menores, el 3% [65], por lo cual en ocasiones se utilizan de forma indistinta los términos de TMB y TMR.

3.6.3 Acumulador de pulso

La estimación de gasto energético se puede realizar también a partir de la frecuencia cardíaca, se basa en la relación existente entre el consumo de oxígeno y esta frecuencia. Sirve para evaluar el gasto energético en un periodo prolongado, además de que en el mercado se encuentran dispositivos acumuladores de pulso de fácil manejo y bajo costo (en Internet se consiguen con valores entre 150 mil y 300 mil pesos). Al hacer un seguimiento de la frecuencia cardíaca se puede estimar el consumo de oxígeno y a partir de este estimado se calcula el gasto calórico realizado durante el periodo estudiado. Con estos dispositivos se pueden obtener parámetros de eficiencia cardiovascular como la frecuencia cardíaca máxima y lograr el cálculo de parámetros cardiorrespiratorios como el pulso de oxígeno, definido como el cociente entre el volumen de oxígeno y la frecuencia cardíaca máxima:

$$\text{Pulso } O_2 = \frac{VO_2}{\text{Frecuencia cardiaca máx}}$$

Ecuación 20

3.6.4 Equivalente respiratorio

Son parámetros que miden la eficiencia respiratoria y dan información sobre la transición aeróbica -anaeróbica en el ejercicio. El equivalente respiratorio se puede definir tanto para el O_2 como para el CO_2 . Para el O_2 el equivalente será el cociente

$$Eq O_2 = \frac{V_E}{VO_2} \quad \text{Ecuación 21}$$

Representa cuánto aire se debe movilizar para consumir un ml de oxígeno. Para el CO_2 se define análogamente:

$$Eq CO_2 = \frac{V_E}{VCO_2} \quad \text{Ecuación 22}$$

Representa cuánto aire se debe movilizar para eliminar un ml de CO_2 .

3.7 Estimación de tasas metabólicas por medio de la técnica antropométrica

3.7.1 Tamaño corporal y tasa metabólica basal

La tasa de metabolismo basal es la cantidad de energía gastada para el mantenimiento de los procesos fisiológicos básicos, se mide cuando la persona se encuentra en completo estado de reposo físico y mental, y cuando el organismo no requiere consumo de energía para la digestión de los alimentos o para la regulación térmica, para lograr esto se realiza la medida después de 12 horas del último alimento y de la realización de algún esfuerzo muscular excesivo, en una habitación a 20 °C. Bajo estas condiciones el gasto energético corresponde solo al necesario para el mantenimiento de las funciones básicas del organismo para el manteniendo de la vida.

Normalmente lograr las condiciones necesarias para la correcta medición de la tasa de metabolismo basal es difícil, haciéndose generalmente después de dormir en las instalaciones de un hospital. La tasa de metabolismo en reposo (RMR por sus siglas en

inglés) es el gasto de energía que tiene un individuo superior al mínimo o basal y está asociado a los específicos efectos dinámicos que causan en el metabolismo la ingesta de alimentos y la actividad física en periodos inferiores a las 12 horas señaladas. Las condiciones para medir la tasa de metabolismo en reposo son: no consumir alimentos de 3 a 4^a horas antes y permanecer descansado en posición supina por lo menos 30 minutos antes de la medida. Por la dificultad de lograr las condiciones de medición de BMR generalmente se mide el RMR. Ambas tasas generalmente se miden el kcal min⁻¹.

Se ha establecido la relación entre la tasa de metabolismo basal y el tamaño corporal. Rubner (1883) mostró que existía una relación constante al dividir el calor producido por el área superficial en medidas hechas con perros, actualmente se ha mostrado que dicha relación constante se presenta en animales de diferentes tamaños como elefantes o ratones [66]. La explicación de esta relación es que el calor producido por el metabolismo está limitado por la habilidad para eliminarlo del organismo y esto se logra a través del área superficial, a esto se le ha llamado “la ley del área superficial”, resultando una importante consideración cuando se estudian diferencias entre niños y adultos. En [66] se presenta la Tabla 13 reproducida fielmente, en la cual se expone la relación entre área superficial y tasa de metabolismo basal como función de la edad y el sexo.

Edad	TMB (kcal/m2/Min)		Edad	TMB (kcal/m2/Min)	
Años	Hombres	Mujeres	Años	Hombres	Mujeres
3	1,0016	0,9083	29	0,6283	0,5833
4	0,9650	0,8983	30	0,6266	0,5833
5	0,9383	0,8833	31	0,6233	0,5833
6	0,9000	0,8533	32	0,6200	0,5816
7	0,8716	0,8283	33	0,6183	0,5816
8	0,8466	0,8000	34	0,6166	0,5816
9	0,8250	0,7700	35	0,6150	0,5800
10	0,7950	0,7483	36	0,6133	0,5783
11	0,7750	0,7350	37	0,6116	0,5766
12	0,7550	0,7000	38	0,6116	0,5750
13	0,7416	0,6750	39	0,6100	0,5733
14	0,7300	0,6533	40	0,6083	0,5716
15	0,7283	0,6383	41 – 44	0,6066	0,5675
16	0,7150	0,6283	45	0,6050	0,5633
17	0,6983	0,6033	46 – 49	0,6250	0,5600
18	0,6750	0,5950	50	0,6000	0,5568
19	0,6683	0,5900	51 – 54	0,5950	0,5525
20	0,6633	0,5883	55	0,5900	0,5483
21	0,6566	0,5866	56 – 59	0,5850	0,5441
22	0,6533	0,5866	60	0,5800	0,5400
23	0,6500	0,5866	61 – 64	0,5733	0,5350
24	0,6450	0,5850	65	0,5666	0,5300

25	0,6400	0,5850	66 – 69	0,5591	0,5258
26	0,6366	0,5833	70	0,5516	0,5216
27	0,6333	0,5833	71 -74	0,5408	0,5200
28	0,6300	0,5833	75 y más	0,5300	0,5183

Tabla 13. Metabolismo basal por área superficial (kJ m-2 h-1) datos de Atman y Dittmer, 1968 reproducidos de [66]

La diferencia entre los valores para hombres y mujeres (alrededor de 5%) se explica por las diferencias en composición corporal, las mujeres tienen mayor porcentaje de tejido graso el cual metabólicamente es inerte, esta diferencia se elimina cuando se considera la masa libre de grasa. Las diferencias en composición corporal también explican en buena medida el descenso del 2% por década de la tasa metabólica observada hasta la edad adulta [66].

A partir de la tabla es posible predecir un valor de BMR individual usando una estimación del área superficial del cuerpo. Existen diferentes fórmulas para estimar el área superficial del cuerpo que utilizan mediciones de peso y estatura, o incluso solo de estatura.

3.7.1.1 Estimación de área superficial

Conocer el área superficial, o superficie corporal (SC) es de importancia en las prácticas médicas. Esta variable antropométrica se utiliza para determinar el área afectada por quemaduras y a partir de esta planificar la reanimación hídrica de los pacientes afectados, la dosificación de algunos medicamentos, en el cuidado de pacientes críticos para la determinación de variables hemodinámicas y respiratorias, en esquemas de hidratación pediátrica y para calcular el aporte calórico en estudios de nutrición [67] [68], la fórmula comúnmente usada es la de DuBois, en la Tabla 14 se presentan algunas de las fórmulas utilizadas en el ámbito clínico. En el presente trabajo se utilizará la fórmula que aparece en el protocolo de fraccionamiento de masas de Ross y Kerr [45] (ver sesión 4.5, Ecuación 48)

Identificación (Autor)	Año de publicación	Fórmulas
Mosteller	1987	$SC = \left(\frac{P \times T}{3600} \right)^{1/2}$
Haycock	1978	$SC = P^{0,5378} \times T^{0,3974} \times 0,024265$
Biering	1934	$SC = 10,9 \times P^{0,67}$
Dubois-Dubois	1916	$SC = P^{0,425} \times T^{0,725} \times 0,007184$
Boyd	1939	$SC = 3,207 \times P^{0,7825-0,011778 \times P} \times T^{0,3}$
Gehan	1970	$SC = P^{0,51456} \times T^{0,42246} \times 0,0235$
Isackson	1936	$SC = 1 + (P + T - 160) / 100$
Breitman	1932	$SC = 0,0087 \times (P + T) - 0,26 \times 100$
von Schelling	1954	$SC = 5,3175 \times T \times 10^{0,5 \times P}$
Vierordt	1906	$SC = 12,3 \times P^{0,67}$

Bardeen	1920	$SC = 1,43(2P \times 1000/T + 4T(P \times 1000T)^{0,5})$
---------	------	--

Tabla 14. Compendio de ecuaciones para calcular la superficie corporal. Tomada de [68]. SC: superficie corporal, P: peso, T:talla

En 1883 se publica la ley de Rubner, cristalizando la creencia entre los fisiólogos de mitad del siglo XIX de que independientemente de la especie la producción de calor de un individuo es proporcional a la superficie del cuerpo. Dicha ley es muy difícil de refutar porque medir la superficie corporal es muy complejo y se requieren métodos como el despellejar al sujeto, a su vez medir la tasa metabólica por medio de calorimetría es poco viable dadas las exigencias del proceso de medida. Sin embargo el uso de fórmulas matemáticas que modelan el cuerpo humano como un conjunto de figuras geométricas permitió realizar estimaciones de la tasa metabólica a partir de la utilización de simples fórmulas, por lo que el cálculo de la superficie corporal se ha convertido en un práctica de importancia y generalizada en la práctica médica. [69]

Una de las críticas más fuertes al método de cálculo de la SC por medio de ecuaciones es que asume que la piel es lisa, en realidad la superficie de la piel está llena de poros y folículos, en dichas ecuaciones estos no contribuyen al área cuando en realidad estas sí contribuyen extensamente en el área total de la piel, por tanto la SC no puede ser medida con presión. Adicionalmente existe variación entre la densidad por unidad de área de los folículos y los poros de la piel a través de los grupos étnicos y entre niños y adultos, otra razón por la cual se invalida el cálculo de la SC. Las estructuras de la piel son sitios metabólicamente muy activos, por ejemplo la mayor parte de la evaporación ocurre en los poros, al ignorar estas estructuras se refuerza la idea de que el cálculo de la SC realmente no representa la tasa metabólica. Los límites de la SC también son arbitrarios, por ejemplo los tractos respiratorios y gastrointestinales son ignorados en los cálculos de SC, y estos metabólicamente son muy activos. [69]

A pesar de los pobres argumentos científicos en los cuales se funda las fórmulas de SC, su uso está extendido por su fácil cálculo; también se debe considerar que peso y talla no son parámetros independientes, existiendo la posibilidad de obtener una expresión de la forma: $P^a \times T^b$ (P es peso y T talla) en la cual escogiendo adecuadas constantes produciendo un valor estable que sigue al peso, entonces el cálculo de SC a partir del peso y la talla no es

esencialmente diferente de la medición del peso por sí solo, en [70] se estudian la relación antes descrita.

La importancia de la tasa metabólica en el ámbito clínico es que permite determinar los requerimientos alimenticios y la cantidad de agua a partir de la relación conocida de 1 ml de agua por cada kcal consumida por el metabolismo [70].

En los tratamientos contra el cáncer donde se utiliza quimioterapia el conocimiento de la SC es importante para la dosificación, sin embargo ha existido diferencias sobre cuál fórmula utilizar para el cálculo de esta, en [71] se propone como estándar la ecuación de Mosteller como el estándar y se presenta el estudio que sustenta dicha elección. A nivel local también se han realizado estudios relacionados con la mejor forma de estimar la superficie corporal, en particular en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia se realizó un estudio para evaluar seis fórmulas de estimación del área corporal en él se concluyó que la fórmula más indicada es la de Boyd aunque su dificultad de cálculo implica disponer de un ordenador o una calculadora con la fórmula programada para su uso, en caso de no disponer de este se recomienda nuevamente el uso de la ecuación de Mosteller [71].

3.7.2 Tasa metabólica en reposo y tejido magro

La masa magra, o masa activa, está correlacionada con la TMN y la TMR, es decir que el metabolismo tiene relación con la composición corporal. Desde la formulación de la “ley de la superficie” por Rubner en 1883 no se ha definido con precisión la relación entre superficie corporal y el consumo de energía en reposo. Benedict en 1915 sugirió la falla de la ley del área para explicar las variaciones inespecíficas de la TMR, y se enfocó en buscar una forma de relacionar el tejido activo metabólicamente y el gasto energético en reposo (TMR) [62].

En 1991 Cunningham presenta una síntesis de la revisión de trabajos desde 1980, en los cuales se estudia la relación entre el gasto energético en reposo, el gasto energético total diario y la composición corporal, con las siguientes salvedades: se considera que los términos: gasto energético en reposo, TMB y TMR son equivalentes fisiológicamente, pero

distingue entre la masa de tejido no adiposa (la masa corporal magra (LBM)) y la masa no lípida (la masa libre de grasa (FFM)), señalando como adecuada para estimar la TMR, la masas libre de grasa, la cual es calculada por medio de la medición de potasio, en la Tabla 15 se observa dicha síntesis

Referencia	Categorías*	n	Ecuación De Regresión	r ²
Cunningham, (17), 1980	M/F; l, ob	223	$TME= 502 + 21,6 (FFM)$	0,70
Dore et al (19) 1982	F; l, ob	140	$TME= 712+ 824 (wt) + 0,02 (FFM) - 325 (age) †$	0,83
Bernstein et al, (20), 1983	M/F;, ob	185	$TME= 251 + 22 (FFM) + 64 (FM) - 21 (age)$	0,67
Garrow and webster (21), 1985	F; l, ob	104	$TME= 310 + 24,2 (FFM) + 5,8 (\% fat) ‡$	0,69
Ravussin and Bogardus (22), 1989	M/F; l, ob	249	$TME= 392 + 21,8 (FFM)$	0,82
Owen (23), 1988	M/F; l, ob	104	$TME= 186 + 23,6 (FFM)$	0,71§
Kashiwasaki et al (24) 1988	M/F; l, ob	134	$TME= 304 + 24,5 (FFM)$	0,61
Mifflin et al, (25) 1989	M/F; l, ob	483	$TME= 413 + 19,7 (FFM)$	0,64
Ecuación de medias ponderada ‖		212	$TME= 370 + 21,6 (FFM)$	

Tabla 15. Ecuaciones para estimar la TMR a partir de la masa corporal. *: l, delgado; ob, obeso. † Calculada a partir de la ecuación publicada suponiendo 4,9 Kcal / l de oxígeno consumido y un contenido de potasio de 60 mmol / kg de FFM. ‡: Calculada a partir de la ecuación publicada suponiendo 4,9 Kcal / l de oxígeno consumido y el uso de la FFM medio determinado por tres métodos diferentes. §: No publicado en la referencia citada, que se calcula a partir de los datos. ‖: calculada a partir de la intersección y la pendiente ponderada por tamaños de la muestra, con la omisión de los datos de Dore et al (19). Nota: en el original, en [62], no se presenta ni “categoría”, ni valor de r² para la “ecuación de medias ponderada”.

En el artículo de Cunningham [62] se presenta una ecuación de regresión general que representa la correlación entre la FFM y la TMB (Ecuación 12 y Ecuación 13). Adicionalmente presenta una ecuación en la cual la FFM es estimada por la medición del pliegue cutáneo de tríceps, sin embargo no especifica el método por el cual se obtiene la masa libre de grasa (Ecuación 23), el estudio se realiza con 77 sujetos y una varianza explicada E(r²)=0.65.

$$TMR(kcal\ dia^{-1}) = 370 + 21,6 \cdot FFM$$

Ecuación 23

3.8 Gasto energético

3.8.1 Actividad física y el equivalente metabólico (MET)

El gasto energético puede ser medido usando el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$), la producción de CO₂ ($\dot{V}CO_2$) y el cociente respiratorio (CR) como se señaló en la sección 3.7 en el

trabajo presentado al V Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica (La Habana, Cuba – 2011) [17] se utilizó el CR para diseñar un equipo que a partir de la medición del CO_2 y disponiendo de la información nutricional, lograba estimaciones del gasto energético. El fundamento de este método es el uso de propuestas como la de Wolfe en la cual se utiliza el coeficiente respiratorio para calcular el gasto energético (EE en la ecuación) a partir del CO_2 y el CR [72]:

$$EE = 3,9 \frac{VCO_2}{CR} + 1,11VCO_2 \quad \text{Ecuación 24}$$

La medición del $\dot{V}O_2$ o del $\dot{V}CO_2$ permite medir el gasto energético total durante una determinada actividad, o la TMR en estado de reposo, dicha medición de la TMR se podría comparar con los valores calculados a partir de las ecuaciones para TMR y masa libre de grasa (Ecuación 23). Sin embargo la medición del $\dot{V}O_2$ y del $\dot{V}CO_2$ no resulta sencilla en todas las condiciones, por ejemplo: un campesino trabajando en un cultivo, o un jugador durante un partido, ya que tendría que desarrollar estas actividades con una mascarilla y llevando en su cuerpo el equipo de medición (ver Figura 8), además no siempre es posible disponer de un laboratorio con equipos de análisis de gases o desplazar a los sujetos del estudio hasta este, como ocurre con comunidades de vida tradicional. Por esto se desarrollan metodologías asociadas con el concepto de MET.



Figura 8. Ejemplo de condiciones de medida de consumo de oxígeno utilizando un equipo portátil, el k4b2 de la firma Cosmed (imagen tomada de la página del fabricante: <http://www.cosmed.com/k4b2>)

3.8.2 Definición y cálculo de METs

Para el cálculo del gasto energético se dispone de tablas donde se reporta el valor del CR no proteico para diferentes tipos de dieta, especificando el porcentaje de la energía (kJ) por litro producida por carbohidratos y grasa y la cantidad de oxígeno consumido (Ver Tabla 16). En esta tabla se muestra que por litro de oxígeno se libera 20,20kJ para un cociente respiratorio no proteínico (CRnoP) de 0,82; de la energía liberada el 59,7% es derivada de los carbohidratos y el 40,3% de las grasas. La energía total consumida sería la suma de la obtenida con el uso del CRnoP más la energía liberada por las proteínas [73]. Con la información de la tabla se puede calcular el equivalente metabólico (MET), que es la unidad de medida definida como la energía necesaria para el sostenimiento de la TMR, o en otras palabras es la cantidad mínima de oxígeno necesaria para mantener las funciones metabólicas del organismo.

No proteico RQ	Energía por litro de oxígeno usado	Porcentaje de energía derivado		gramos por litro de O2 consumido	
		Carbohidratos	Grasa	Carbohidratos	Grasa
0,707	19,62	0	100	0,000	0,496
0,71	19,63	1,1	98,9	0,012	0,491
0,72	19,68	4,8	95,2	0,051	0,476
0,73	19,73	8,4	91,6	0,090	0,460
0,74	19,79	12,0	88,0	0,130	0,444
0,75	19,84	15,6	84,4	0,170	0,428
0,76	19,89	19,2	80,8	0,211	0,412
0,77	19,94	22,8	77,2	0,250	0,396
0,78	19,99	26,3	73,7	0,290	0,380
0,79	20,04	29,9	70,1	0,330	0,363
0,80	20,10	33,4	66,6	0,371	0,347
0,81	20,15	36,9	63,1	0,413	0,330
0,82	20,20	40,3	59,7	0,454	0,313
0,83	20,25	43,8	56,2	0,496	0,297
0,84	20,30	47,2	52,8	0,537	0,280
0,85	20,35	50,7	49,3	0,579	0,263
0,86	20,41	54,1	45,9	0,621	0,247
0,87	20,46	57,5	42,5	0,663	0,230
0,88	20,51	60,8	39,2	0,705	0,213
0,89	20,57	64,2	35,8	0,749	0,195
0,90	20,61	67,5	32,5	0,791	0,178
0,91	20,66	70,8	29,2	0,834	0,160
0,92	20,71	74,1	25,9	0,875	0,143
0,93	20,77	77,4	22,6	0,921	0,125
0,94	20,82	80,7	19,3	0,981	0,108
0,95	20,87	84,0	16,0	1,008	0,080
0,96	20,92	87,2	12,8	1,052	0,072
0,97	20,97	90,4	9,58	1,097	0,054
0,98	21,02	93,6	6,37	1,142	0,036
0,99	21,08	96,8	3,18	1,186	0,018
1,00	21,13	100,0	0	1,231	0,000

Tabla 16. Equivalente térmico de O₂ para el cociente respiratorio no proteico, incluida la energía porcentaje y en gramos derivados de hidratos de carbono y grasa (Reproducido de [73]).

Por ejemplo una persona de 70kg con un $\dot{V}O_2$ de 270ml min^{-1} y con CR de 0,87 tiene una TMR de $0,27 \times 20,46\text{kJ l}^{-1}$ que es igual a $5,52\text{ kJ min}^{-1}$ o 7954 kJ dia^{-1} ($1900\text{ kcal dia}^{-1}$). El valor $20,47\text{kJ}$ es leído de la tabla y 270ml min^{-1} es igual a $0,27\text{l min}^{-1}$. Para este sujeto hipotético el valor del MET será de $5,52\text{ kJ min}^{-1}$ el cual se multiplica por valor de un MET de acuerdo a la actividad como lo reporta la Tabla 19. En [74] se presenta una metodología para calcular y controlar el gasto metabólico a partir de la medida de la frecuencia cardiaca usando el MET, el cual es asumido en dicha publicación equivalente a un $\dot{V}O_2$ promedio de $3,5\text{ ml/kg/min}$.

De Lucio *et al.* [74] aprovechan la relación que existe entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca para proponer una metodología de cuantificación del gasto calórico por medio de la frecuencia cardiaca (FC). Inicialmente se determina el $\dot{V}O_{2,Max}$, y después se establece la relación entre el porcentaje de $\dot{V}O_2$ y la frecuencia cardiaca, dicha relación es propia de cada individuo por lo cual para su aplicación se debe realizar una calibración para cada sujeto considerando edad, sexo y ritmo cardiaco basal. Los parámetros asociados a la FC, presentados en [74] como una modificación de Karcoven, son los siguientes:

Ritmo Cardiaco Máximo Teórico (RCMT):

$$\text{Mujeres RCMT} = 214 - (0,8 \times \text{Edad}) \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\text{Hombres RCMT} = 209 - (0,7 \times \text{Edad}) \quad \text{Ecuación 26}$$

Reserva del ritmo cardiaco (RRC):

$$\text{RRC} = \text{RCMT} - \text{RC Basal} \quad \text{Ecuación 27}$$

Ritmo cardiaco del entrenamiento (RCE):

$$\text{RCE} = (\text{RRC} \times \% \text{ Intensidad}) + \text{RC Basal} \quad \text{Ecuación 28}$$

En [74] se presenta una tabla que representa la relación entre $\dot{V}O_2$ y FC (Tabla 17). Una vez conocidos los valores de $\dot{V}O_{2,Max}$ y calculado RCE se construye una tabla de equivalentes MET. Para calcular los equivalentes MET con este método se utiliza el valor de 3,5ml/kg/min como la unidad del MET, así se divide los valores de $\dot{V}O_2$ calculados a partir del consumo máximo para obtener el equivalente del consumo en MET y por medio de este calcular el gasto calórico. Para ello se utiliza la Ecuación 29 (del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM)), reportada en [74].

% RC	% $\dot{V}O_{2,Max}$	%RC	$\dot{V}O_{2,Max}$
50	28	75	63
55	35	80	70
60	42	85	77
65	49	95	90
70	56	100	100

Tabla 17. Relación entre los % $\dot{V}O_{2,Max}$ y los %RC máximo.

$$cal. \min = \frac{MET \times 3,5 \times \text{Peso corporal}}{200} \quad \text{Ecuación 29}$$

A continuación se reproduce el ejemplo presentado en [74]. Se supone un individuo de 26 años con 70 kg y con un $\dot{V}O_{2,Max}$ de 52,3ml/kg/min y un ritmo cardiaco basal de 50 pulsaciones por minuto (ppm).

$$\text{El RCE} = (\text{RCMT} - \text{RC Basal}) \times (\% \text{intensidad}) + \text{RC Basal}$$

Donde el $\text{RCMT} = 209 - (0,7 \times 26) = 190,8 \approx 190 \text{ ppm}$. Se construye la tabla haciendo el cálculo para cada porcentaje, y se calculan los porcentajes del consumo de oxígeno (ver Tabla 18). Por ejemplo para 60%: $\text{RCE} = (190 - 50) \times 60\% + 50 = 134 \text{ ppm}$, frecuencia que equivale al 42% del $\dot{V}O_{2,Max}$.

%RC		% $\dot{V}O_{2,Max}$		MET	Cal.min
60	134 ppm	42	21,9 ml/kg/min	6,2	7,5
65	141 ppm	49	25,6 ml/kg/min	7,3	8,9
70	148 ppm	56	29,2 ml/kg/min	8,3	10,1
75	155 ppm	63	32,9 ml/kg/min	9,4	11,5
80	162 ppm	70	36,6 ml/kg/min	10,4	12,7
85	169 ppm	77	40,2 ml/kg/min	11,4	13,9

Tabla 18. Ejemplo de cálculo de calorías gastadas por minuto por un individuo de 70 kg y 26 años de edad [74].

Cada valor del porcentaje de $\dot{V}O_{2,Max}$ es dividido por 3,5 ml/kg/min para obtener dicho consumo de oxígeno en METs, y con la Ecuación 29 se completa la tabla obteniendo las calorías por minuto que gasta dicho individuo. Si durante la sesión de entrenamiento la intensidad es de un 75% del RC y dura 45 minutos, el gasto de energía total durante el entrenamiento será:

$$11,5 \text{ cal. min} \times 45 \text{ min} = 517 \text{ calorías}$$

De esta manera se tiene un método para estimar el gasto energético durante la actividad física que requiere la realización de un test de consumo máximo de oxígeno y tomar la frecuencia cardiaca basal. Durante el trabajo de campo no fue posible obtener datos para todos los jugadores, por lo cual los resultados solo se presentan para una submuestra.

3.8.2.1 METs por actividad

En la literatura se reportan valores de MET para diferentes actividades relacionadas en la Tabla 19. Si se desea estimar el gasto energético de un individuo solo se tendría que obtener el MET de este y multiplicar por el valor adecuado de acuerdo a la actividad. Retomando el sujeto hipotético de un ejemplo anterior: peso corporal de 70kg, un $\dot{V}O_2$ de 270 ml min^{-1} y con CR de 0,87, se calculó que su TMR es de $5,52 \text{ kJ min}^{-1}$. Si dicha persona decide montar bicicleta con una intensidad de 16 a 19 km/h (de la Tabla 13 sabemos que el valor en MET de esta actividad es de 6) por tanto el gasto calorico será:

$$6 \text{ MET} \times 5,52 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} = 33,1 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \quad (7,91 \frac{\text{kcal}}{\text{min}})$$

Tenemos así otra forma de estimar el gasto energético durante la realización de una actividad física, para lo cual se debe conocer el $\dot{V}O_2$ y el CR del individuo y disponer de los valores MET par a dicha actividad. En la siguiente tabla se listan valores de METs por actividad

Actividad	kcal kg ⁻¹ min ⁻¹ (a)	METS (b)
Badminton	0,097	4,5 (General)
		7,0 (Competitivo)
Basketball	0,138	6,0 (general)

		8,0 (Competitivo)
Ciclismo	0,100 (15 km h ⁻¹)	0,169 (carreras)
	6,0 (16–19 km h ⁻¹)	16,0 (carreras >32 km h ⁻¹)
Rumba (aerobics)	0,135 (intense)	7,0 (Alto impacto)
		5,0 (bajo impacto)
		6,0 (general)
Home (limpieza general)	0,060	3,5 (general)
Home (jugar con el niño)		5,0 (carrera / caminata vigorosa)
		2,5 (sentado)
Home (inactividad- tranquilidad)	0,022 (acostado)	1,0 (sentado)
Correr	0,163 (a campo traviesa)	9,0 (a campo traviesa)
	0,193 (10.4 km h ⁻¹)	10,0 (9,6 km h ⁻¹)
	0,252 (16.0 km h ⁻¹)	16,0 (16 km h ⁻¹)
Squash	0,212	12,0
Nadando (de estilo libre)	0,156 (rápido)	11,0 (rápido)
	0,128 (lento)	8,0 (lento)
Volleyball	0,050	4,0 (Competitivo)
		3,0 (no-Competitivo)
Caminando	0,080 (paso normal)	3,5 (4,8 km h ⁻¹)
		4,5 (6,4 km h ⁻¹)
		6,0 (mochila)
		3,0 (Bajar Escalas)
		8,0 (subir escalas)
(a): Valores en kcal kg ⁻¹ min ⁻¹ son de McArdle et al. (1996).		
(b): Valores en METS son de Ainsworth et al. (1993).		

Tabla 19. Valores de energía gastada por actividades selectas [73].

3.8.3 Cálculo de gasto energético con uso de encuesta de 24 horas

En ausencia de medición o predicción de la TMR, es posible usar un auto reporte de la actividad física durante las últimas 24 horas para evaluar el gasto de energía basados en una estimación media de la TMR de 1 kcal kg⁻¹ h⁻¹. El reporte de las 24 horas puede elaborarse por periodos de 10 a 15 minutos en los cuales las actividades intensas como subir escalas, son de poca duración, las actividades intensas no cortas deben anotarse por separado. La tabla permite evidenciar cómo estas actividades tienen un efecto acumulativo en el gasto energético del día registrado. A continuación se presenta un ejemplo de un registro de 24 horas adaptado de [73] en la Tabla 20. En la Tabla 21 se presenta un ejemplo para una hipotética mujer de 57 kg, se registran las actividades principales del día y su duración y se

calcula el gasto energético a partir de valores de MET y con el valor promedio para TMR de $1 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Hora	Periodos de 15 minutos			
	1	2	3	4
1	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
2	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
3	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
4	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
5	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
6	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
7	Dormir	Dormir	Sentado	Comiendo
8	Caminando	Caminando	Caminando	Escribiendo.
9	Escribiendo.	Escribiendo.	Escribiendo.	Escribiendo.
10	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado
11	Escribiendo.	Escribiendo.	Escribiendo.	Escribiendo.
12	Escribiendo	Escribiendo	Escribiendo	Escribiendo
13	Caminando	Comiendo	Comiendo	Escribiendo
14	Escribiendo	Escribiendo	Escribiendo	Escribiendo
15	Escribiendo	Escribiendo	Caminando	Caminando
16	Caminando	Sentado	Jugar con los niños	Jugar con los niños
17	Cocinando	Cocinando	Limpiando	Limpiando
18	Comiendo	Sentado	Caminando	Sentado
19	Aeróbicos (general)	Aeróbicos	Aeróbicos	Aeróbicos
20	Caminando	Sentado	Comiendo	Sentado
21	Sentado	Sentado	Sentado	Sentado
22	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
23	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir
24	Dormir	Dormir	Dormir	Dormir

Tabla 20. Ejemplo de una encuesta de recordatorio de actividad 24 horas. Las actividades intensas de corta duración deben ser registradas por separado

	Tipo de actividad.	METS	Duración (h:min)	Energía gastada ($\text{kcal kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
1	Sentado	1,0	8:0	456
2	Caminando	3,5	2:0	399
3	Nadando fácil	11,0	0:30	313
Total 1 168 (in a 10.5 h period)				

Tabla 21. Ejemplo de registro de actividad física, para una mujer hipotética de 57 kg [73].

3.8.4 Gasto energético en perspectiva ergonómica y de salud ocupacional

En ergonomía del puesto de trabajo y salud ocupacional el bienestar del trabajador es el objetivo, prestando atención a múltiples aspectos como las relaciones dimensionales, de información y control frente a una máquina o actividad, el ambiente térmico, acústico o la iluminación entre otros. En particular en el presente trabajo se resalta lo relativo al gasto energético y el trabajo físico. Para ello se revisan brevemente los conceptos de: carga de trabajo físico, capacidad de trabajo físico y límite de gasto energético. Todos estos

conceptos son aplicables a los jugadores profesionales de fútbol, para quienes su actividad deportiva es un trabajo. La aplicación de estos conceptos en la investigación se vio limitada por la falta de datos para todos los individuos estudiados (ver sección 4).

Si se diseña un sistema hombre-máquina (de acuerdo al marco conceptual de la ergonomía), se establecen actividades físicas sin considerar el consumo de energía y el límite de energía que puede consumir un individuo, se está incurriendo en un grave error, pues si el gasto energético está por encima de las posibilidades del individuo, este no podrá cumplir con la tarea, o la cumplirá hasta el tiempo en el cual alcance su límite o modifique la actividad [56]. Cuando un trabajador se ve obligado a superar este límite aparece la fatiga y el desgaste como consecuencias no deseadas del trabajo. Es objetivo del fisiólogo del trabajo, el ergónomo o el responsable de la salud ocupacional procurar que los trabajadores puedan culminar su jornada laboral sin sufrir fatiga, desgaste y de esta forma recuperarse en su tiempo de descanso para continuar con esta en una nueva jornada [56], para lograr esto uno de los objetivos es identificar la capacidad de desempeño físico del trabajador, o para el caso particular de estudio, del jugador de fútbol .

En [56] se presenta un modelo de instrumentación para medir y evaluar la carga de trabajo, considerando solo los aspectos asociados al proceso de trabajo (en donde se produce el consumo de energía) sin atender otros factores que determinan la capacidad de desempeño físico como los factores psicológicos (motivación, actitud), factores somáticos (peso, talla, tipo de fibra muscular), entrenamiento, adaptación entre otros factores intrínsecos al trabajador, además de los factores externos como el medio ambiente de trabajo, el descanso, la alimentación o la recreación. Los conceptos presentados a continuación son extraídos de dicho modelo.

La Capacidad de Trabajo Físico máximo (CTFmax), es la capacidad de trabajo físico de un individuo, puede determinarse a partir de su potencia aeróbica máxima. Se define como la cantidad de oxígeno que puede procesar o metabolizar un individuo, por lo que también se le denomina capacidad aeróbica o potencia máxima aeróbica. Este se calcula a partir de la equivalencia calórica del oxígeno, la cual es de aproximadamente de 5kcal (20 kJ). Es la

cantidad de energía que es capaz de gastar un individuo en una actividad, si la actividad requiere más de esta energía la persona no podrá desarrollarla.

Asociado al CTFmax está el Límite de Gasto Energético (LGE) el cual es un indicador que muestra el límite fisiológico, que permite determinar en función del tiempo qué proporción de la CTFmax puede ser comprometida en la actividad física. La medida de la capacidad puede ser riesgosa en población con hábitos sedentarios si se somete a una prueba límite, como alternativa se utiliza para su cuantificación una prueba submáxima.

Se ha propuesto una ecuación que relaciona la CTFmax y el tiempo:

$$LGE = CTFmax(1,2 - 0,33\log T) \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde T es el tiempo de duración de la actividad en minutos.

La energía consumida se acumula a lo largo de la jornada, la fatiga es el peso acumulado de la energía consumida. El umbral máximo del gasto energético se calcula multiplicando el LGE por el tiempo total de la jornada:

$$LGEa = CTFmax(1,2 - 0,33\log T)T \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde LGEa es el límite del gasto energético acumulado. Con la obtención del LGEa y conociendo el gasto energético total se puede establecer la Barrera de Gasto Energética (BGE), la cual es un parámetro que permite ver el comportamiento de la exigencia de la actividad en relación con la posibilidades del trabajador. Mientras el gasto energético total no alcance al LGEa el individuo podrá realizar su actividad sin riesgo, si supera este límite el trabajador puede estar en riesgo fisiológico. Una forma de resolver esto es entrenando al individuo para mover su LGEa.

El procedimiento para encontrar la BGE es graficar en un mismo plano el LGEa y el gasto energético total (GET), el punto en el cual ambos se igualan es la BGE. También se puede entender como el valor mínimo en el cual el GET y el LGEa son iguales. Para calcular el

GET se utilizan la metodología descrita para cálculo de gasto energético por actividad y se usa la siguiente ecuación:

$$GET = (GEActividad + TMB) * T \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde GEActividad y TMB es el gasto de energía en una actividad, y Tasa Metabólica Basal respectivamente, calculados como se indica en los apartados anteriores. Con este modelo es posible planificar las actividades físicas asociadas con algún trabajo, o en particular la carga física durante el entrenamiento deportivo para asegurar que los individuos se encuentran en condiciones adecuadas evitando que sufran de fatiga o desgaste fisiológico, siendo esta una de las aplicaciones fundamentales del estudio del gasto energético.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Características y selección de la muestra.

El diseño del trabajo de campo consideró la captación de los futbolistas del Envigado Fútbol Club en el Polideportivo Sur de Envigado a partir de la facilitación de los entrenadores, la psicóloga del centro deportivo y los directivos. Se obtuvieron los permisos para iniciar el estudio y se realizó una sesión informativa con los jugadores para explicarles la importancia del estudio. El permiso para la captación de la muestra se logra gracias a la gestión de la psicóloga de la entidad y al interés del entrenador de la categoría sub 17. En el polideportivo sur de envigado además de funcionar el envigado fútbol club se encuentran las instalaciones del INDER institución con la cual previamente se realizó un estudio lo cual generó las relaciones que permitieron el acercamiento con los entrenadores del envigado fútbol club. El compromiso adquirido por la toma consistió en la entrega de un informe con los resultados más relevantes, dicho informe por jugador fue entregado y se puede observar en los anexos.

El acceso a la muestra condicionó las edades y categorías. Las categorías finales incluidas en el estudio representan 3 grupos etarios distribuidos así:

Categoría infantil con edades entre 12 y 13 años (n=15)

Categoría Sub 17 con edades entre 15 y 16 años (n=21)

Categoría 1ºB con edades entre 17 y 19 años (n=19)

Sin embargo las edades de los jugadores medidos tienen una media alrededor de los 16 a 17 años. Esto se debe a la movilidad entre las categorías sub 16, sub 17, juvenil y 1ºB y a una mayor presencia de jugadores jóvenes correspondientes a la categoría Sub 17, cabe señalar que en la 1ºB participan jugadores de la categoría juvenil que comprende las edades de 17 a 18 años. En el equipo de 1ªB había 4 jugadores con edades inferiores a los 17 años lo que explica por qué no hay una estricta correspondencia entre el número de jugadores por categoría y la edad (ver resultados).

Los jugadores de la 1° B se caracterizan por llevar más tiempo en el club deportivo, siendo sometidos a un proceso de selección asociado con su rendimiento deportivo y a la motivación para continuar con la práctica deportiva durante su juventud. La categoría sub 17 incluye a los jugadores de la categoría sub 16, por lo cual se presenta en ocasiones como dicha categoría; los jugadores en esta categoría se enfrentan a una presión de selección de talento deportiva más intensa que en las otras. Los niños de la categoría infantil son el grupo más móvil, en este ingresan y salen jugadores constantemente, tienen menos sesiones de entrenamiento en la semana y en buena medida su asistencia depende del acompañamiento de sus padres. En la Tabla 22 se presenta el resumen de las frecuencias de edades de los jugadores estudiados, los cuales son mayoritariamente jóvenes de 16 años. No todos los jugadores de cada categoría fueron medidos, la selección de los individuos medidos se realizó por criterio de cada entrenador, quien escogía los jugadores de acuerdo a su rendimiento deportivo y al talento, en especial en la categoría infantil, y por la disponibilidad horaria del jugador para ser medido.

Edad	Frecuencia
12	9
13	6
15	4
16	21
17	5
18	10

Tabla 22. Tabla de frecuencias para el número de integrantes por edad

Para la planeación del estudio se consideró el número de sesiones de entrenamiento por semana y el programa formativo de los entrenadores de tal manera que las medidas antropométricas se efectuaran en fechas próximas a las de pruebas físicas. Las medidas son tomadas después del entrenamiento en el caso de los jugadores de la sub 17, en el caso de la 1ªB se toman antes del entrenamiento y durante este: el entrenador enviaba a los camerinos un jugador cada vez una vez terminado la toma de datos de un individuo. En el caso de la categoría infantil, las medidas se realizaron en la oficina de E.F.I.S.A.E en presencia del personal administrativo de la escuela, duchas medidas se programaron de tal manera que los niños asistían antes del entrenamiento; en la categoría infantil no se realiza pruebas físicas por lo cual no fue posible realizar dichas pruebas.

4.2 Variables incluidas en el estudio

Las variables medidas se describen como variables directas cuando son obtenidas por medio de equipos y variables indirectas o calculadas cuando son obtenidas a partir de las medidas directas. Las medidas directas corresponden a las medidas antropométricas del protocolo ISAK nivel II, a las longitudes digitales (2D:4D) y a las pruebas de funcionalidad deportiva.

VARIABLES DIRECTAS: peso, talla, 13 perímetros, 8 pliegues, 6 diámetros, 4 alturas, 10 longitudes, tiempos en prueba de 1000 m, velocidad en prueba Course-Navette y la longitud digital de los dedos 2 y 4 de ambas manos.

VARIABLES INDIRECTAS O CALCULADAS: Índices de Quetelet, ponderal (IP), y de Rohrer, edad cronológica, fracciones de masas, endomorfía, mesomorfía, ectomorfía, VO2Max, tasas metabólicas y los índices digitales.

4.3 Protocolo de medidas antropométricas

Para la toma de los datos antropométricos se utilizó el protocolo ISAK nivel II, el cual se puede consultar en la publicación [75].

4.3.1 Instrumentos para la recolección de los datos

Los equipos utilizados fueron: antropómetro Siber-Hegner (precisión $\pm 0,1\text{mm}$), pesa digital TANITA (precisión $\pm 100\text{g}$), cinta métrica flexible (precisión $\pm 1\text{mm}$) y un calibre para pliegues cutáneos: adipómetro Slim-Guide (precisión $\pm 0,1\text{mm}$), también se usó un calibrador tipo Vernier para tomar las medidas de las longitudes digitales (precisión $\pm 0,01\text{mm}$).

4.4 Cálculo de somatotipo

El somatotipo es una estrategia de cuantificación corporal en la cual a partir de la forma corporal se clasifica al individuo en un biotipo, siendo básicamente una descripción numérica de la morfología del sujeto estudiado. A continuación se presentan las ecuaciones necesarias para realizar dicha descripción, se parte de las medidas antropométricas obtenidas con el protocolo ISAK nivel 2, y con ellas se computa para obtener los tres

componentes del somatotipo (endomorfia, mesomorfia y ectomorfia) y lograr su representación gráfica. Las ecuaciones son reproducidas de [53]

$$Endomorfia = -0,7182 + 0,1451(X) - 0,00068(X^2) + 0,0000014(X^3) \quad \text{Ecuación 33}$$

Dónde: X es la suma de los panículos de tríceps, subscapular y supraespinal, multiplicado por un factor de corrección (170.18/Estatura en cm)

$$Mesomorfia = (0,858HB + 0,601FB + 0,188CAG + 0,161CCG) - (0,131H) + 4,5 \quad \text{Ecuación 34}$$

Dónde: HB = Diámetro biepicondilar del húmero; FB = Diámetro biepicondilar del fémur; CAG = perímetro del brazo corregido; CCG = perímetro del pantorrilla; H = Altura; CAG y CCG son los perímetros corregidos por los pliegues cutáneos del tríceps y pantorrilla, respectivamente, como sigue: CAG = circunferencia del brazo flexionado - tríceps pliegue cutáneo/10; CCG = pantorrilla máxima circunferencia - cría pliegue cutáneo /10.

El cálculo de la ectomorfia se realiza de acuerdo al cociente altura-peso (HWR por sus sigla en inglés) se utilizan tres ecuaciones de acuerdo al intervalo en el cual se encuentre dicho cociente.

$$Si HWR \geq 40,75, entonces Ectomorfia = 0,732HWR - 28,58 \quad \text{Ecuación 35}$$

$$Si 38,25 < HWR < 40,75, entonces Ectomorfia = 0,463HWR - 17,63 \quad \text{Ecuación 36}$$

$$Si HWR \leq 38,25, entonces Ectomorfia = 0,1 \text{ (o registrado como } 1/2) \quad \text{Ecuación 37}$$

Dónde:

$$HWR = \frac{Altura}{Peso^3} \quad \text{Ecuación 38}$$

4.4.1 Construcción de la somatocarta

El somatotipo se representa gráficamente con un triángulo de Reuleaux ubicado en un plano cartesiano en el cual el eje vertical (eje Y) tiene una escala de un medio, por lo cual

las distancias en el eje horizontal (eje X) tienen el doble de las distancias del eje vertical. El somatotipo está conformado por tres valores, su representación gráfica corresponde a una representación tridimensional, sin embargo en la somatocarta se representa la proyección de dicho punto del espacio tridimensional a un plano, las ecuaciones para ello son las siguientes:

$$X = Ectomorfia - Endomorfia \quad \text{Ecuación 39}$$

$$Y = 2 \times Mesomorfia - (Endomorfia + Ectomorfia) \quad \text{Ecuación 40}$$

Una vez calculados los valores para el eje X y el eje Y se representan en plano cartesiano contenidos en el triángulo de Reuleaux

4.5 Análisis del somatotipo

4.5.1 Análisis individual

Distancia de dispersión del somatotipo (SDD), compara un somatotipo individual con uno de referencia en la somatocarta

$$SDD = \sqrt{(3(X_1 - X_2))^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde X1 y Y1 son las coordenadas del sujeto estudiado y X2 y Y2 son las coordenadas del somatotipo de referencia. El número tres de la raíz corresponde a la relación entre las unidades “X” y “Y” en la somatocarta. Se considera que existe diferencia significativa entre los dos somatotipos si el valor de SDD es mayor de 2, con este valor es que se utiliza la estrategia de Rose y Güimaraes (ver Figura 5).

La distancia posicional del somatotipo (SAD, por sus siglas en inglés), es la distancia en tres dimensiones entre dos somatotipos cualquiera, el valor calculado es en unidades de componente. Los dos somatotipos comparados pueden ser individuales (somatotipo del individuo A y B), o entre el valor medio de dos grupos (somatotipo del grupo A y B), o entre un sujeto (A) y el valor medio de un grupo (B).

$$SAD = \sqrt{(Endo_A - Endo_B)^2 + (Meso_A - Meso_B)^2 + (Ecto_A + Ecto_B)^2} \quad \text{Ecuación 42}$$

Dónde: Endo = Endomorfia; Meso = Mesomorfia; Ecto = Ectomorfia

4.5.2 Análisis de grupo

Media posicional del somatotipo (SAM), Es la media de los valores de SAD de cada somatopunto, comparado desde el somatopunto medio de una muestra

$$SAM = \frac{\sum SAD_i}{nX} \quad \text{Ecuación 43}$$

Dónde: SAD_i = Somatotipo de cada sujeto menos la media del somatotipo del grupo; nX es el número en el grupo x.

La distancia posicional del somatotipo medio se define de forma similar a la SDD ($SDD = \sqrt{(3(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2)}$) en donde los valores de X y Y sean los valores medios de los dos grupos a comparar

4.6 Protocolo para fraccionamiento de las masas

Método antropométrico para el fraccionamiento corporal en cinco componentes (reproducida de [45])

Formulación general

La forma general de predecir las masas de tejido adiposo, muscular, hueso y tejido residual es utilizando la táctica *Phantom*, para lo cual se requiere derivar el índice de proporcionalidad *Phantom* o para cada masa de acuerdo a la Ecuación 44. La predicción de la masa de la piel es la única que utiliza el peso corporal obtenido, se espera el desarrollo de un método que permita la obtención de esta a partir de valores Z del *Phantom*.

$$Z = \frac{1}{S} \left[V \left(\frac{CP}{CS} \right)^d - P \right] \quad \text{Ecuación 44}$$

Dónde:

Z = score de proporcionalidad *Phantom*

V = valor de la/s variables

d = constante dimensional: 1 para longitudes, diámetros y perímetros, 2 para áreas y 3 para volúmenes (como el peso)

CP = altura o talla *Phantom*

CS = altura o talla del evaluado

P = valor *Phantom* para la variable V

S = desviación estándar *Phantom* para la variable V

Para calcular la masa fraccional para cada tejido se utiliza la suma de los valores antropométricos de cada subgrupo de variables predictivas, dicha suma se usa para calcular el valor *Phantom* de proporcionalidad (Z) para cada masa de tejido. Los subgrupos de variables predictoras que se suman para calcular el valor Z de cada masa con la Ecuación 46 se relacionan en Tabla 23, donde el perímetro corregido se obtiene con la Ecuación 45:

$$\text{Perímetro corregido} = \text{Perímetro total} - (\pi \times \text{Pliegue}) / 10 \quad \text{Ecuación 45}$$

Ecuación general para calcular la masa de cada tejido:

$$M = (Z \cdot s + P) \left(\frac{C_p}{C_s} \right)^3 \quad \text{Ecuación 46}$$

Dónde:

M = cualquier masa, por ejemplo: masa adiposa, masa de tejido esquelético, masa muscular o masa residual (en kg).

Z = valor de la proporcionalidad *Phantom* de cada masa (expresa la proporcionalidad Z del subgrupo de medidas asignado a una determinada masa de tejido) .

P = valor *Phantom* específico para la masa de tejido en cuestión

S = desviación estándar *Phantom* para la masa de tejido que se calcula

CP = Altura o talla *Phantom* (para el cálculo de la masa residual se usa la altura o talla sentado)

CS= Altura o talla del evaluado

3 = exponente dimensional (asumiendo una similaridad geométrica donde masa = litros (o m³))

Para realizar el cálculo de los componentes se requiere de las medidas relacionadas en la siguiente tabla, estas están comprendidas en el protocolo ISAK nivel II

Masa Piel	Masa de Tejido Adiposo	Masa Muscular	Masa Ósea	Masa Residual
Peso corporal Estatura	Pliegue Tricipital	Perímetro del brazo relajado corregido por el pliegue cutáneo tricipital.	Diámetro biacromial	Perímetro de la cintura, corregido por el pliegue cutáneo abdominal
	Pliegue Subescapular		Diámetro biiliocristal	
	Pliegue supraespinal	Perímetro del antebrazo (no corregido).	Diámetro biepicondilar del húmero	Diámetro antero-posterior de la caja torácica
	Pliegue abdominal	Perímetro de la caja torácica, corregido por el pliegue cutáneo subescapular.	Diámetro bicondilar del fémur	
	Pliegue muslo frontal	Perímetro del muslo, corregido por el pliegue cutáneo de la parte frontal del muslo.	Perímetro de la cabeza (la masa ósea del cráneo se predice independientemente)	Diámetro transversal de la caja torácica
	Pliegue de pantorrilla	Perímetro de la pantorrilla, corregido por el pliegue cutáneo de la pantorrilla medial		

Tabla 23. Variables antropométricas de acuerdo al protocolo ISAK para la derivación de masas fraccionales. El perímetro se corrige con el pliegue cutáneo respectivo (ver Ecuación 45).

a) Predicción de la masa de piel:

Para calcular la masa de piel:

$$MS = SA \cdot TSK \cdot 1,05$$

Ecuación 47

Dónde:

MS = masa de piel en kg,

SA = superficie en metros cuadrados

1,05 = densidad de la piel (dato obtenido de disección cadavérica)

TSK = grosor de la piel (dato obtenido de cadáveres): es 2,07 para los hombres y 1,96 para las mujeres

Para calcular la superficie corporal:

$$SA = CSA \cdot W0.425 \cdot H0.725 / 10.000$$

Ecuación 48

Dónde:

W = masa corporal expresada como peso, en Kg

H = estatura o altura en centímetros

SA = superficie en metros cuadrados (m²)

CSA = 68,308 en hombres de edad; > 12 años; 73,704 en mujeres de edad; > 12 años; 70,691 en hombres y mujeres, < 12 años (representa la media de las constantes de hombres y mujeres)

b) Predicción de la masa esquelética u ósea:

Para el cálculo de la masa ósea completa debe calcularse por separando: la masa ósea de la cabeza; masa ósea del cuerpo. La masa esquelética de la cabeza se predice de acuerdo con el método general antes descrito, así pues:

$$Z_{\text{ÓSEA CABEZA}} = (\text{perímetro de la cabeza} - 56,0) / 1,44$$

Ecuación 49

Dónde:

56,0 = perímetro *Phantom* de la cabeza

1,44 = desviación estándar *Phantom* para el perímetro de la cabeza

M_{ÓSEA CABEZA} = Masa ósea de la cabeza (en kg.)

Z_{ÓSEA CABEZA} = Score de proporcionalidad *Phantom* para masa ósea de la cabeza

1,20 = Constante del método para media de masa ósea *Phantom* de la cabeza (en kg.)

0,18 = Constante del método para desviación estándar de la masa ósea *Phantom* de la cabeza (en kg.)

La masa esquelética del cuerpo se calcula según las siguientes ecuaciones:

$$S_{\text{ÓSEA CUERPO}} = \text{sumatoria} [BIAC + BIIL + (2 \cdot HUM) + (2 \cdot FEM)]$$

Ecuación 50

Dónde:

BIAC = diámetro biacromial

BIIL = diámetro biiliocristal

HUM = diámetro del húmero

FEM = diámetro del fémur

$$Z_{\text{ÓSEA CUERPO}} = [S_{\text{ÓSEA CUERPO}} \cdot (170,18 / \text{HT}) - 98,88] / 5,33 \quad \text{Ecuación 51}$$

Dónde:

$Z_{\text{ÓSEA CUERPO}}$ = Score de proporcionalidad *Phantom* para masa ósea del cuerpo

$S_{\text{ÓSEA CUERPO}}$ = Sumatoria antes descrita

98,88 = valor de sumatoria *Phantom* de los diámetros óseos

5,33 = valor de sumatoria *Phantom* de los desvíos estándar de los diámetros óseos

170,18 = Constante de altura *Phantom*

HT = Altura o talla del evaluado

$$M_{\text{ÓSEA CUERPO}} (\text{kg.}) = \frac{(Z_{\text{ÓSEA CUERPO}} * 1,34) + 6,70}{\left(\frac{170,18}{\text{HT}}\right)^3} \quad \text{Ecuación 52}$$

Dónde:

$M_{\text{ÓSEA CUERPO}}$ = masa ósea del cuerpo (en kg.)

$Z_{\text{ÓSEA CUERPO}}$ = Score de proporcionalidad *Phantom* para masa ósea del cuerpo

6,70 = Constante del método para media de masa ósea corporal *Phantom* (en kg.)

1,34 = Constante del método para desvío estándar de masa ósea corporal *Phantom* (en kg.)

$$\text{MASA TOTAL OSEA (en kg.)} = M_{\text{ÓSEA CUERPO}} + M_{\text{ÓSEA CABEZA}} \quad \text{Ecuación 53}$$

c) Predicción de la masa adiposa

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$S_{\text{ADIP}} = \text{TPSF} + \text{SSSF} + \text{SISF} + \text{ABSF} + \text{THSF} + \text{MCSF} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$Z_{\text{ADIP}} = [S_{\text{ADIP}} \cdot (170,18 / \text{HT}) - 116,41] / 34,79 \quad \text{Ecuación 55}$$

Dónde:

116,41 = sumatoria de medias *Phantom* de los pliegos cutáneos
34,79 = sumatoria de los desvíos estándar *Phantom* para los pliegues cutáneos :

TPSF = pliegue cutáneo del tríceps

SSSF = pliegue cutáneo subescapular
 SISF = pliegue cutáneo supraespinal
 ABSF = pliegue cutáneo abdominal
 THSF = pliegue cutáneo frontal del muslo
 MCSF = pliegue cutáneo de la pantorrilla media

$$M_{ADIP} \text{ (kg.)} = [(Z_{ADIP} \cdot 5,85) + 25,6] / (170,18 / HT)^3 \quad \text{Ecuación 56}$$

Dónde:

M ADIP = Masa adiposa (en kg.)

Z ADIP = Score de proporcionalidad *Phantom* para la masa adiposa

25,6 = Constante del método para media de masa adiposa *Phantom* (en kg.)

5,85 = Constante del método para desvío estándar de la masa adiposa *Phantom* (en kg.)

d) Predicción de la masa muscular

$$S_{MUS} = (P \text{ ARC} + P \text{ FA} + P \text{ THC} + P \text{ MCC} + P \text{ CHC}) \quad \text{Ecuación 57}$$

$$Z \text{ MUS} = [S \text{ MUS} \cdot (170,18 / HT) - 207,21] / 13,74 \quad \text{Ecuación 58}$$

Dónde:

207,21 = sumatoria de las medias *Phantom* de los perímetros corregidos

13,74 = sumatoria de los desvíos estándar *Phantom* para los perímetros corregidos

P ARC = perímetro del brazo (relajado), corregido por el pliegue cutáneo del tríceps

P FA = perímetro del antebrazo (no corregido)

P THC = perímetro del muslo, corregido por el pliegue cutáneo del muslo frontal

P MCC = perímetro de la pantorrilla, corregido por el pliegue cutáneo de la pantorrilla medial

P CHC = perímetro de la caja torácica, corregido por el pliegue cutáneo subescapular

$$M_{MUS} \text{ (kg.)} = [(Z \text{ MUS} \cdot 5,4) + 24,5] / (170,18 / HT)^3 \quad \text{Ecuación 59}$$

Dónde:

M MUS = Masa muscular (en kg.)

Z MUS = Score de proporcionalidad *Phantom* para masa muscular

24,5 = Constante del método para media de masa muscular *Phantom* (en kg.)

5,4 = Constante del método para desvío estándar *Phantom* para el músculo (en Kg.)

e) Predicción de la masa residual

$$S_{RES} = D APCH + D TRDH + P WC \quad \text{Ecuación 60}$$

Dónde:

D APCH = Diámetro anteroposterior de la caja torácica

D TRCH = Diámetro transversal de la caja torácica

P WC = perímetro de la cintura, corregido por el pliegue cutáneo abdominal

$$Z_{RES} = [S RES \cdot (89,92 / SIT HT) - 109,35] / 7,08 \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde:

S_{RES} = Sumatoria de variables para el cálculo de la masa residual

Z_{RES} = Score de proporcionalidad *Phantom* para la masa residual

89,92 = altura o talla sentado *Phantom*

109,35 = Sumatoria de las medias *Phantom* de las variables usadas

7,08 = Sumatoria de los desvíos estándar *Phantom* de las mismas variables

SIT HT = Altura o talla sentado

$$M_{RES} (\text{en kg.}) = \frac{[(Z_{RES} \cdot 1,24) + 6,10]}{\left(\frac{89,92}{SIT HT}\right)^3}$$

Dónde:

M_{RES} = Masa residual (en kg.)

Z_{RES} = Score de proporcionalidad *Phantom* para masa residual

6,10 = Constante del método para la media de masa residual *Phantom*

1,24 = Constante del método para el desvío estándar para la masa residual *Phantom*

f) Predicción de la masa corporal total

La masa corporal predictiva se estima a partir de la suma de las cinco masas tisulares fraccionales calculadas:

$$M_{TOT} \text{ (en kg.)} = (M_{piel} + M_{adiposa} + M_{muscular} + M_{ósea} + M_{residual}) \quad \text{Ecuación 62}$$

M_{TOT} = masa corporal predictiva (en Kg.)

4.7 Protocolo de test de consumo de oxígeno

Debido a las condiciones particulares del trabajo de campo no fue posible obtener datos de rendimiento cardiovascular para todos los individuos a los cuales se les realizó el perfil antropométrico completo, por lo cual no fue posible tener una mayor cantidad de datos para los estudios de correlación. Para medir el consumo máximo de oxígeno se utilizaron las pruebas de 1000 metros y la prueba Course-Navette.

4.7.1 Prueba de 1000m

Es una prueba para medir la potencia aeróbica, mide el consumo máximo de oxígeno. Consiste en recorrer un kilómetro en el menor tiempo posible, y a partir de este tiempo y la distancia recorrida se obtiene la velocidad promedio durante el recorrido y se estima el consumo máximo de oxígeno. La fórmula para estimar el oxígeno es:

$$VO_{2,Max} = 672,17 - \frac{t}{6,762} \quad \text{Ecuación 63}$$

Donde t es el tiempo de la prueba en segundos

4.7.2 Prueba Course-Navette

La prueba Course-Navette o carrera de 20 m es una prueba física de aptitud cardiorrespiratoria que mide la capacidad aeróbica máxima e indirectamente el consumo máximo de oxígeno, una revisión crítica de esta prueba se presenta en [76]. Los individuos examinados comienzan la prueba caminando y terminan corriendo, deben desplazarse de una línea de referencia a otra, separadas por 20m, la velocidad del desplazamiento aumenta

de acuerdo con una señal sonora; inician el desplazamiento con una y señal deben llegar a la línea antes de la próxima señal. El ritmo de carrera aumenta progresivamente: los sujetos empiezan a una velocidad de 8 metros por minuto, después del primer minuto aumenta a 9 metros por minuto y después de esto la velocidad se aumenta medio kilómetro por hora. La prueba finaliza cuando el evaluado no puede seguir el ritmo marcado.

El valor medido es la máxima velocidad a la que ha conseguido desplazarse antes de pararse, dicho valor se introduce en una fórmula para calcular el valor de VO₂, Max es una prueba máxima y progresiva. Un valor mayor de VO₂, Max indica una mayor capacidad del organismo para producir energía mediante el metabolismo aeróbico, por tanto una menor necesidad de recurrir al metabolismo anaeróbico láctico y un mejor capacidad de eliminación de ácido láctico en caso de haber sido producido [76]. La ecuación utilizada para calcular el VO₂, Max [76] es:

$$VO_{2,Max} = 31,025 + 3,238A + 0,1536AX \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde A es la edad del sujeto y X la velocidad a la que se paró el sujeto. Para sujetos mayores de 18 años se utiliza el valor estimado del adulto (a los 18 años) [76], reduciéndose la Ecuación 64 a:

$$VO_{2,Max} = -27,4 + 6,0X \quad \text{Ecuación 65}$$

4.8 Análisis estadístico

El procedimiento estadístico consistió en un análisis descriptivo de los datos obtenidos, se realizaron pruebas de normalidad para los coeficientes digitales y el consumo máximo de oxígeno. La estimación de las tasas metabólicas se realizaron a partir de estas medidas así que se esperaba que conserven la distribución de los datos. Se utilizaron los diagramas de caja para representar algunos resultados descriptivos por su fácil visualización, en ellos se observa la media como línea central y la caja representa la desviación estándar, también se utilizara el diagrama QQplot para representar la normalidad de algunas medidas de la muestra.

Se utilizó la prueba de correlación: coeficiente “r” de Pearson, para estudiar de forma exploratoria la relación entre variables funcionales y el coeficiente digital, el somatotipo y coeficiente digital, índices peso talla y compartimientos de masa de acuerdo con el protocolo de Ross y Kerr, así como la correlación entre los compartimientos masa muscular y masa adiposa con el consumo de oxígeno.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan primero las descripciones estadísticas (caracterización de la muestra) de las variables antropométricas y del coeficiente digital, se privilegian algunas variables presentadas con más detalle por ser significativas. Los resultados del estudio antropométrico serán presentados resaltando las diferencias encontradas entre las tres categorías, en donde se evidencia un proceso de selección a medida que se asciende en edad y su correspondiente categoría. Se utiliza la prueba Kruskal-Wallis para confirmar que las diferencias entre los grupos si son significativas ya que el número de individuos por categoría es pequeño (inferior a 30).

A continuación se exponen los datos asociados con variables funcionales como las tasas metabólicas y el consumo máximo de oxígeno. Los datos presenta de consumo de oxígeno tienen un tamaño de muestra inferior al de los datos antropométricos debido a dificultades en la recolección de los éstos, adicionalmente esto impidió realizar un estudio de correlación con tamaños de muestra mayores para el consumo de oxígeno. A partir del consumo de oxígeno es posible calcular el gasto calórico, en este estudio por las limitaciones de equipos no fue posible realizar dichas medidas, a partir del VO₂max se pueden calcular los equivalentes metabólicos (MET) para estimar el gasto calórico, esto se presenta en el apartado 6.

Se estudia la asociación entre el coeficiente digital y la estructura corporal y el rendimiento en la prueba de consumo de oxígeno. Se encuentra una asociación estadísticamente significativa entre el coeficiente digital y la mesomorfia

Se exploran las asociaciones entre las variables funcionales y las antropométricas, así como la correlación entre índices y fracciones de masa. A partir de la información obtenida se realiza el ejercicio de aplicar algunas de las herramientas estudiadas para obtener información útil para el proceso de entrenamiento, estos resultados son presentados en el apartado 6.

5.1 Caracterización antropométrica

Los resúmenes de las medidas antropométricas tomadas de acuerdo al protocolo ISAK nivel II, son presentadas en las tablas Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27 las abreviaturas utilizadas son las siguientes:

Nombre de la medida	Abreviatura	Nombre de la medida	Abreviatura
"Peso"	P	"Perímetro del muslo (1cm. pliegue gluteo)"	PeMus
"Estatura elongada"	EE	"Perímetro del muslo medio"	PeMusM
"Talla sentado"	TS	"Perímetro máximo de la pantorrilla"	PePant
"Panículo tríceps"	PaT	"Perímetro mínimo del tobillo"	PeTob
"Panículo subescapular"	PaSub	"Acromiale-radiale"	AcRa
"Panículo bíceps"	PaB	"Radiale-styilion"	RaSt
"Panículo cresta ilíaca"	PaCr	"Midstyilion-dactylion"	MiDa
"Panículo supraespinal"	PaSupE	"Altura Iliospinale"	AIII
"Panículo abdominal"	PaAd	"Altura Trochanterion "	AlTr
"Panículo del muslo, extremidad extendida"	PaMu	"Trochanterion-tibiale laterale"	TrTib
"Panículo pantorrilla"	PaPan	"Altura Tibiale laterale "	AlTib
"Perímetro cefálico"	PeCe	"Tibiale mediale-sphyrion tibiale"	TibSph
"Perímetro del cuello"	PeCu	"Diámetro biacromial"	DiBcro
"Perímetro del brazo extendido - relajado"	PeBrRe	"Diámetro bicrestal"	DiBcre
"Perímetro del brazo tenso, codo flexionado"	PeBrFl	"Largo del pie"	LPiE
"Perímetro máximo del antebrazo"	PeAnt	"Diámetro transversal del tórax"	DTransTor
"Perímetro de la muñeca"	PeMuñ	"Diámetro anteroposterior del tórax"	DAntTor
"Perímetro del tórax (mesosternale)"	PeTor	"Diámetro biepicondilar del húmero"	DBcondHum
"Perímetro mínimo de la cintura"	PeCin	"Diámetro biepicondilar del fémur"	DBcondFem
"Perímetro de las caderas(gluteal) máximo"	PeGl		

Tabla 24. Abreviaturas

En las siguientes tablas se reportan los resúmenes estadísticos para las categorías infantil (n=15), sub 17 (n=21) y 1° B (n=19), en dichas tablas se observa para cada variable el valor mínimo y máximo, el valor del primer cuartil y del tercero, la media y la mediana.

P	EE	TS	PaT	PaSub	PaB
Min. :33,20 1st Qu. :45,08 Mediana :46,60 Media :49,39 3rd Qu. :53,60 Max. :64,10 SD. : 8,154	Min. :137,7 1st Qu. :153,4 Mediana :157,3 Media :156,8 3rd Qu. :160,6 Max. :175,3 SD. : 9,717	Min. :71,20 1st Qu. :76,88 Mediana :78,70 Media :80,05 3rd Qu. :80,83 Max. :92,60 SD. : 5,651	Min. : 6,500 1st Qu. : 9,125 Mediana : 9,950 Media :12,430 3rd Qu. :13,850 Max. :22,700 SD. : 5,155	Min. : 5,700 1st Qu. : 7,175 Mediana : 7,700 Media : 8,940 3rd Qu. : 9,300 Max. :19,600 SD. : 3,380	Min. : 3,250 1st Qu. : 5,250 Mediana : 6,600 Media : 8,243 3rd Qu. : 9,425 Max. :19,600 SD. : 4,810
PaCr	PaSupE	PaAd	PaMu	PaPan	PeCe
Min. : 6,00 1st Qu. : 9,15 Mediana :10,40 Media :14,60 3rd Qu. :22,20 Max. :25,00 SD. : 6,877	Min. : 4,800 1st Qu. : 6,625 Mediana : 7,000 Media :10,393 3rd Qu. :13,650 Max. :22,100 SD. : 5,565	Min. : 6,750 1st Qu. : 9,325 Mediana :10,600 Media :15,470 3rd Qu. :23,500 Max. :26,900 SD. : 7,941	Min. : 8,90 1st Qu. :11,30 Mediana :15,00 Media :17,96 3rd Qu. :21,80 Max. :36,60 SD. : 8,554	Min. : 5,800 1st Qu. : 7,475 Mediana : 9,900 Media :11,420 3rd Qu. :13,850 Max. :20,400 SD. : 5,035	Min. :51,65 1st Qu. :53,15 Mediana :53,95 Media :54,04 3rd Qu. :54,83 Max. :57,55 SD. :

PeCu	PeBrRe	PeBrFl	PeAnt	PeMuñ	PeTor
Min. :28,00 1st Qu. :30,12 Mediana :31,20 Media :31,24 3rd Qu. :32,48 Max. :34,75 SD. : 1,729	Min. :21,65 1st Qu. :22,43 Mediana :24,10 Media :24,16 3rd Qu. :25,43 Max. :28,65 SD. : 1,998	Min. :22,75 1st Qu. :24,00 Mediana :24,85 Media :25,29 3rd Qu. :26,12 Max. :28,50 SD. : 1,912	Min. :20,40 1st Qu. :21,32 Mediana :22,20 Media :23,21 3rd Qu. :23,75 Max. :33,35 SD. : 3,153	Min. :13,60 1st Qu. :14,30 Mediana :14,75 Media :14,86 3rd Qu. :15,15 Max. :17,00 SD. : 0,936	Min. :67,70 1st Qu. :73,97 Mediana :75,80 Media :77,84 3rd Qu. :81,83 Max. :88,00 SD. : 6,169
PeCin	PeGl	PeMus	PeMusM	PePant	PeTob
Min. :60,65 1st Qu. :64,67 Mediana :67,05 Media :68,23 3rd Qu. :71,90 Max. :77,10 SD. : 5,225	Min. :73,25 1st Qu. :81,72 Mediana :82,90 Media :84,33 3rd Qu. :86,15 Max. :95,35 SD. : 5,761	Min. :40,70 1st Qu. :48,60 Mediana :50,05 Media :50,13 3rd Qu. :52,38 Max. :58,55 SD. : 4,088	Min. :37,80 1st Qu. :44,33 Mediana :45,10 Media :45,56 3rd Qu. :47,15 Max. :52,45 SD. : 3,371	Min. :28,40 1st Qu. :31,52 Mediana :32,55 Media :32,83 3rd Qu. :34,02 Max. :37,00 SD. : 2,066	Min. :18,60 1st Qu. :20,25 Mediana :21,00 Media :20,99 3rd Qu. :21,75 Max. :23,35 SD. : 1,248
AcRa	RaSt	MiDa	AllI	AlTr	TrTib
Min. :24,90 1st Qu. :29,18 Mediana :30,30 Media :34,09 3rd Qu. :31,82 Max. :92,65 SD. : 16,337	Min. :18,15 1st Qu. :22,43 Mediana :23,50 Media :23,09 3rd Qu. :24,57 Max. :25,60 SD. : 2,011	Min. :15,05 1st Qu. :16,75 Mediana :17,10 Media :17,11 3rd Qu. :17,35 Max. :19,80 SD. : 1,039	Min. :45,05 1st Qu. :86,05 Mediana :88,05 Media :85,03 3rd Qu. :90,88 Max. :95,45 SD. : 12,504	Min. :70,50 1st Qu. :82,00 Mediana :83,25 Media :83,18 3rd Qu. :85,95 Max. :91,35 SD. : 5,229	Min. :35,05 1st Qu. :39,88 Mediana :40,80 Media :40,96 3rd Qu. :42,70 Max. :45,70 SD. : 3,019
AlTib	TibSph	DiBcro	DiBcre	LPiE	DTransTor
Min. :35,50 1st Qu. :41,02 Mediana :42,40 Media :44,58 3rd Qu. :44,00 Max. :81,75 SD. : 10,655	Min. :30,35 1st Qu. :35,90 Mediana :36,80 Media :36,42 3rd Qu. :37,95 Max. :39,60 SD. : 2,625	Min. :28,90 1st Qu. :31,57 Mediana :34,70 Media :33,80 3rd Qu. :35,62 Max. :38,90 SD. : 2,929	Min. :20,85 1st Qu. :22,65 Mediana :23,90 Media :23,74 3rd Qu. :24,70 Max. :27,25 SD. : 1,831	Min. :21,60 1st Qu. :23,73 Mediana :24,30 Media :24,40 3rd Qu. :25,25 Max. :26,70 SD. : 1,404	Min. : 21,50 1st Qu. : 23,25 Mediana : 24,00 Media : 24,37 3rd Qu. : 25,28 Max. : 27,80 SD. : 2,001
DAntTor	DBcondHum	DBcondFem			
Min. : 14,40 1st Qu. : 16,20 Mediana : 16,45 Media : 16,68 3rd Qu. : 17,50 Max. : 19,10 SD. : 1,343	Min. : 5,300 1st Qu. : 5,700 Mediana : 6,200 Media : 6,123 3rd Qu. : 6,500 Max. : 6,900 SD. : 0,490	Min. : 8,300 1st Qu. : 9,100 Mediana : 9,500 Media : 9,627 3rd Qu. : 10,070 Max. : 11,550 SD. : 0,355			

Tabla 25. Categoría Infantil. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 15.

P	EE	TS	PaT	PaSub	PaB
Min. :58,20 1st Qu. :64,96 Mediana :66,72 Media :67,52 3rd Qu. :69,81 Max. :79,10 SD. : 4,659	Min. :168,6 1st Qu. :171,8 Mediana :176,4 Media :176,0 3rd Qu. :180,0 Max. :186,1 SD. : 5,701	Min. :85,30 1st Qu. :89,06 Mediana :90,90 Media :90,55 3rd Qu. :91,54 Max. :97,70 SD. : 2,769	Min. : 5,850 1st Qu. : 7,000 Mediana : 8,375 Media : 8,133 3rd Qu. : 9,125 Max. :11,300 SD. : 1,422	Min. : 6,300 1st Qu. : 8,012 Mediana : 8,950 Media : 8,825 3rd Qu. : 9,425 Max. :11,950 SD. : 1,286	Min. :2,950 1st Qu. :3,525 Mediana :3,700 Media :3,885 3rd Qu. :4,150 Max. :6,550 SD. : 0,752
PaCr	PaSupE	PaAd	PaMu	PaPan	PeCe

Min. : 8,50 1st Qu. : 9,50 Mediana :12,45 Media :12,07 3rd Qu. :13,43 Max. :19,00 SD. : 2,789	Min. : 5,600 1st Qu. : 6,100 Mediana : 6,325 Media : 6,902 3rd Qu. : 7,675 Max. :10,500 SD. : 1,191	Min. : 6,250 1st Qu. : 8,675 Mediana : 9,400 Media :10,350 3rd Qu. :12,562 Max. :15,400 SD. : 2,516	Min. : 6,30 1st Qu. : 8,20 Mediana :10,60 Media :11,12 3rd Qu. :11,62 Max. :23,30 SD. : 3,896	Min. :4,850 1st Qu. :5,838 Mediana :6,400 Media :6,705 3rd Qu. :7,562 Max. :9,900 SD. : 1,270	Min. :53,20 1st Qu. :55,60 Mediana :56,23 Media :56,19 3rd Qu. :56,83 Max. :59,20 SD. : 1,362
PeCu	PeBrRe	PeBrFl	PeAnt	PeMuñ	PeTor
Min. :33,80 1st Qu. :34,14 Mediana :35,85 Media :35,58 3rd Qu. :36,71 Max. :37,45 SD. : 1,333	Min. :23,80 1st Qu. :26,86 Mediana :27,77 Media :28,07 3rd Qu. :28,52 Max. :37,65 SD. : 2,682	Min. :27,60 1st Qu. :29,05 Mediana :30,80 Media :30,50 3rd Qu. :31,29 Max. :34,60 SD. : 1,673	Min. :23,05 1st Qu. :24,98 Mediana :26,05 Media :26,34 3rd Qu. :26,70 Max. :35,90 SD. : 2,589	Min. :15,10 1st Qu. :15,85 Mediana :16,77 Media :16,64 3rd Qu. :17,36 Max. :18,25 SD. : 0,868	Min. : 85,80 1st Qu. : 87,44 Mediana : 90,08 Media : 91,14 3rd Qu. : 93,83 Max. :101,85 SD. : 4,148
PeCin	PeGl	PeMus	PeMusM	PePant	PeTob
Min. :71,80 1st Qu. :72,88 Mediana :76,22 Media :76,35 3rd Qu. :79,34 Max. :81,70 SD. : 3,296	Min. : 90,30 1st Qu. : 92,70 Mediana : 93,55 Media : 94,39 3rd Qu. : 94,99 Max. :101,25 SD. : 2,768	Min. :37,15 1st Qu. :54,10 Mediana :55,77 Media :54,98 3rd Qu. :57,12 Max. :60,35 SD. : 4,784	Min. :47,55 1st Qu. :50,98 Mediana :52,70 Media :52,81 3rd Qu. :54,48 Max. :57,15 SD. : 2,730	Min. :33,85 1st Qu. :35,58 Mediana :37,12 Media :37,10 3rd Qu. :37,81 Max. :40,80 SD. : 1,762	Min. :20,60 1st Qu. :21,76 Mediana :22,18 Media :22,91 3rd Qu. :23,44 Max. :33,00 SD. : 2,543
AcRa	RaSt	MiDa	AllI	AlTr	TrTib
Min. :31,40 1st Qu. :32,20 Mediana :33,80 Media :33,60 3rd Qu. :34,67 Max. :36,10 SD. : 1,600	Min. :23,95 1st Qu. :24,94 Mediana :25,98 Media :26,28 3rd Qu. :27,61 Max. :29,90 SD. : 1,595	Min. :17,20 1st Qu. :18,74 Mediana :19,07 Media :19,26 3rd Qu. :19,80 Max. :21,65 SD. : 1,064	Min. : 89,75 1st Qu. : 96,15 Mediana : 97,55 Media : 98,44 3rd Qu. :101,06 Max. :107,45 SD. : 4,814	Min. : 84,50 1st Qu. : 88,89 Mediana : 90,95 Media : 91,98 3rd Qu. : 94,69 Max. :100,05 SD. : 4,515	Min. :41,30 1st Qu. :43,96 Mediana :45,77 Media :45,68 3rd Qu. :47,39 Max. :49,95 SD. : 2,659
AlTib	TibSph	DiBcro	DiBcre	LPiE	DTransTor
Min. :41,85 1st Qu. :44,55 Mediana :46,15 Media :46,33 3rd Qu. :47,27 Max. :51,90 SD. : 2,565	Min. :36,15 1st Qu. :39,08 Mediana :40,00 Media :40,40 3rd Qu. :42,25 Max. :44,95 SD. : 2,353	Min. :36,25 1st Qu. :37,79 Mediana :39,25 Media :39,06 3rd Qu. :39,81 Max. :42,70 SD. : 1,629	Min. :25,15 1st Qu. :26,19 Mediana :26,65 Media :26,75 3rd Qu. :27,24 Max. :29,85 SD. : 1,128	Min. :24,50 1st Qu. :25,32 Mediana :25,80 Media :25,93 3rd Qu. :26,59 Max. :28,45 SD. : 0,992	Min. : 26,30 1st Qu. : 27,05 Mediana : 27,45 Media : 28,06 3rd Qu. : 28,50 Max. : 32,75 SD. : 1,659
DAntTor	DBcondHum	DBcondFem			
Min. : 16,00 1st Qu. : 18,10 Mediana : 19,00 Media : 18,77 3rd Qu. : 19,35 Max. : 20,90 SD. : 1,174	Min. : 6,500 1st Qu. : 6,900 Mediana : 7,400 Media : 7,286 3rd Qu. : 7,500 Max. : 8,200 SD. : 0,415	Min. : 9,30 1st Qu. : 10,05 Mediana : 10,30 Media : 10,34 3rd Qu. : 10,65 Max. : 11,55 SD. : 0,513			

Tabla 26. Categoría Sub 17. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 21.

P	EE	TS	PaT	PaSub	PaB
Min. :59,30 1st Qu. :66,15 Mediana :69,20 Media :69,45 3rd Qu. :73,35 Max. :77,40 SD : 5,188	Min. :167,1 1st Qu. :173,9 Mediana :174,8 Media :176,2 3rd Qu. :178,1 Max. :186,3 SD : 4,608	Min. :87,15 1st Qu. :90,42 Median :93,20 Media :92,34 3rd Qu. :94,08 Max. :96,40 SD : 2,538	Min. : 6,100 1st Qu. : 6,600 Median : 7,650 Media : 8,213 3rd Qu. : 8,625 Max. :15,200 SD : 2,177	Min. : 8,000 1st Qu. : 9,100 Mediana : 9,800 Media : 9,871 3rd Qu. :10,425 Max. :12,700 SD : 1,168	Min. :3,200 1st Qu. :3,600 Mediana :3,800 Media :3,818 3rd Qu. :4,000 Max. :4,700 SD : 0,408
PaCr	PaSupE	PaAd	PaMu	PaPan	PeCe
Min. : 7,50 1st Qu. :11,05 Mediana :13,30 Media :12,73 3rd Qu. :14,70 Max. :19,20 SD : 3,018	Min. :4,600 1st Qu. :6,175 Mediana :6,850 Media :7,124 3rd Qu. :8,050 Max. :9,700 SD : 1,367	Min. : 5,80 1st Qu. : 7,85 Mediana :10,20 Media :10,28 3rd Qu. :12,35 Max. :16,50 SD : 2,867	Min. : 6,650 1st Qu. : 8,150 Mediana : 9,350 Media : 9,916 3rd Qu. :10,950 Max. :16,300 SD : 2,437	Min. : 4,500 1st Qu. : 5,525 Mediana : 6,500 Media : 6,818 3rd Qu. : 7,800 Max. :10,500 SD : 1,586	Min. :36,25 1st Qu. :55,33 Mediana :55,70 Media :55,06 3rd Qu. :57,02 Max. :58,55 SD : 4,720
PeCu	PeBrRe	PeBrFl	PeAnt	PeMuñ	PeTor
Min. :33,35 1st Qu. :35,62 Mediana :36,05 Media :36,31 3rd Qu. :37,60 Max. :39,15 SD : 1,545	Min. :25,70 1st Qu. :28,82 Mediana :29,70 Media :29,57 3rd Qu. :30,52 Max. :33,40 SD : 1,763	Min. :28,05 1st Qu. :30,60 Mediana :31,35 Media :31,56 3rd Qu. :32,35 Max. :35,80 SD : 1,986	Min. :24,05 1st Qu. :25,55 Mediana :26,55 Media :26,39 3rd Qu. :27,02 Max. :28,40 SD : 1,222	Min. :14,90 1st Qu. :15,95 Mediana :16,35 Media :17,26 3rd Qu. :16,95 Max. :26,70 SD : 3,237	Min. : 81,55 1st Qu. : 88,45 Mediana : 91,35 Media : 90,97 3rd Qu. : 93,33 Max. :101,35 SD : 4,491
PeCin	PeGl	PeMus	PeMusM	PePant	PeTob
Min. :71,30 1st Qu. :73,10 Mediana :76,25 Media :76,03 3rd Qu. :78,40 Max. :82,35 SD : 3,212	Min. : 54,95 1st Qu. : 89,90 Mediana : 92,30 Media : 91,15 3rd Qu. : 96,62 Max. :100,75 SD : 9,807	Min. :51,20 1st Qu. :54,27 Mediana :55,40 Media :55,75 3rd Qu. :57,42 Max. :61,05 SD : 2,466	Min. :45,55 1st Qu. :50,02 Mediana :51,45 Media :51,53 3rd Qu. :53,70 Max. :55,50 SD : 2,760	Min. :33,55 1st Qu. :34,38 Mediana :36,55 Media :36,42 3rd Qu. :37,88 Max. :39,75 SD : 2,017	Min. :20,10 1st Qu. :21,30 Mediana :22,05 Media :22,21 3rd Qu. :22,88 Max. :24,60 SD : 1,254
AcRa	RaSt	MiDa	AllI	AlTr	TrTib
Min. :31,15 1st Qu. :32,17 Mediana :32,85 Media :32,93 3rd Qu. :33,52 Max. :35,40 SD : 1,210	Min. :23,35 1st Qu. :24,35 Mediana :25,00 Media :25,25 3rd Qu. :25,98 Max. :27,85 SD : 1,234	Min. :17,65 1st Qu. :17,82 Mediana :18,25 Media :18,50 3rd Qu. :18,95 Max. :20,05 SD : 0,768	Min. : 91,35 1st Qu. : 94,47 Mediana : 96,90 Media : 97,12 3rd Qu. : 98,97 Max. :104,70 SD : 3,379	Min. : 86,60 1st Qu. : 88,47 Mediana : 90,40 Media : 91,26 3rd Qu. : 92,15 Max. :101,25 SD : 3,865	Min. :38,55 1st Qu. :43,98 Mediana :44,75 Media :44,77 3rd Qu. :45,67 Max. :48,80 SD : 2,296
AlTib	TibSph	DiBcro	DiBcre	LPiE	DTransTor
Min. :43,25 1st Qu. :44,98 Mediana :46,45 Media :46,48 3rd Qu. :47,05 Max. :52,90 SD : 2,231	Min. :35,30 1st Qu. :38,05 Mediana :39,20 Media :39,39 3rd Qu. :40,50 Max. :44,00 SD : 1,906	Min. :37,00 1st Qu. :38,23 Mediana :38,80 Media :39,02 3rd Qu. :39,50 Max. :41,80 SD : 1,208	Min. :23,50 1st Qu. :26,00 Mediana :26,80 Media :26,72 3rd Qu. :27,50 Max. :28,70 SD : 1,249	Min. :23,60 1st Qu. :24,73 Mediana :25,75 Media :25,63 3rd Qu. :26,30 Max. :28,15 SD : 1,219	Min. : 25,00 1st Qu. : 27,10 Mediana : 28,00 Media : 27,86 3rd Qu. : 28,52 Max. : 30,55 SD : 1,455
DAntTor	DBcondHum	DBcondFem			
Min. : 17,00 1st Qu. : 18,02 Mediana : 18,80 Media : 19,01 3rd Qu. : 19,40 Max. : 23,20 SD : 1,388	Min. : 5,900 1st Qu. : 6,450 Mediana : 6,700 Media : 6,721 3rd Qu. : 7,100 Max. : 7,600 SD : 0,448	Min. : 8,300 1st Qu. : 9,050 Mediana : 9,200 Media : 9,297 3rd Qu. : 9,700 Max. : 10,450 SD : 0,531			

Tabla 27. Categoría 1ªB. Resumen estadístico de las 39 variables antropométricas medidas en dicha categoría, los individuos medidos fueron 19

5.1.1 Comparación de pliegues cutáneos

Una de las variables de especial interés son los pliegues cutáneos a partir de los cuales se realizan estimaciones de cantidad de tejido graso, siendo indicadores potenciales del nivel de entrenamiento y estando relacionados con el rendimiento deportivo en relación con el porcentaje de tejido graso. En la Figura 9. Panículos de grasa de los jugadores. En la izquierda se observan los panículos por categoría, en la derecha los panículos de todas las categorías se presentan los diagrama de cajas que resumen la descripción estadística de estas variables en las tres categorías. En dichos diagramas se puede observar como la dispersión de los datos se reduce, siendo mayor en la categoría infantil, le sigue la categoría sub 17 y finalmente la categoría 1ª B es la que presenta una menor dispersión, adicionalmente en la 1ª B se evidencia una distribución centrada, mientras que en las otras dos categorías se evidencia un sesgo.

Es posible explicar estos datos por tres factores: desarrollo, nivel de entrenamiento y selección. Los depositos de grasa varían con la edad asociados a los procesos de crecimiento y desarrollo propios de la adolescencia, los niños de la categoría infantil con edades entre los 12 y 13 años están en una etapa de desarrollo diferente a los jóvenes de la categoría sub 17 y 1ªB en las cuales la dispersión de las medidas es menor. Al incrementarse la edad se presentan dos situaciones, el número de entrenamientos semanales aumenta, pasando de 2 días en la categoría infantil a 5 en las otras dos, y los niños sufren un proceso de selección, llegando a categorías mayores solo unos cuantos de los que inician, los individuos de la categoría 1ªB son el resultado de años de entrenamiento y un proceso de selección de talentos por lo cual las medidas de dicho grupo presentan una menor dispersión, evidenciado en otras medidas además de los pliegues cutáneos. En apartados posteriores estos resultados son utilizados para el cálculo del somatotipo y la composición corporal.

Se realizaron pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis para determinar si las diferencias entre los grupos si son significativas. Para valores de $p < 0,05$ se considera que la diferencia es significativa, para valores de $p < 0,001$ se considera que la diferencia entre grupos es muy significativa. En la tabla 28 se observa como las diferencias entre los tres grupos son significativas en los pliegues de las extremidades y no significativas en los pliegues del

tronco del cuerpo (cresta iliaca, supraespinal y abdominal), examinando los tres grupos por pares se observa como la categoría infantil presenta diferencias significativas con las categorías 1ºB y sub 17 en los pliegues de las extremidades, pero entre la sub 17 y la 1ºB solo hay diferencias significativa en el panículo subescapular

Panículo	Tres grupos (df=2)		Infantil y 1ºB (df=1)		Infantil -sub17 (df=1)		Sub17 y 1ºB (df=1)	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
Triceps	13,6614	0,00108	10,6395	0,00110	10,4059	0,00125	0,2249	0,6354
Subescapular	10,1992	0,00609	6,5917	0,01025	1,1918	0,275	7,5642	0,00595
Biceps	19,3989	6,1e-05	14,7499	0,00012	15,2267	9,5e-05	0,1893	0,6635
Cresta iliaca	0,3193	0,8524	0,059	0,808	0,093	0,7604	0,3884	0,5331
Supraespinal	2,6515	0,2656	1,3507	0,2452	2,2294	0,1354	0,4968	0,4809
Abdominal	3,359	0,1865	2,7726	0,09589	2,1318	0,1443	0,3236	0,5694
Muslo (exte.)	12,8894	0,001589	11,6754	0,00063	7,7087	0,005496	0,6831	0,4085
pantorrilla	15,3172	0,000472	11,559	0,00067	12,239	0,000468	0,0117	0,9137

Tabla 28. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis para determinar si la diferencia entre los grupos es significativa

El efecto de la selección del tipo físico en relación al deporte se observa al reducirse la dispersión (varianza) de cada pliegue al ir aumentando la categoría deportiva, adicionalmente las diferencias significativas entre la categoría infantil y las mayores en extremidades, pero no en la zona del tronco apoyaría la hipótesis de que se presenta una selección del tipo de físico asociado con el deporte. La no existencia de diferencias significativas en los panículos del tronco se podría explicar por similitudes en la dieta y estilo de vida entre los jugadores de las diferentes categorías, sin embargo dicha idea debe estudiarse con detalle.

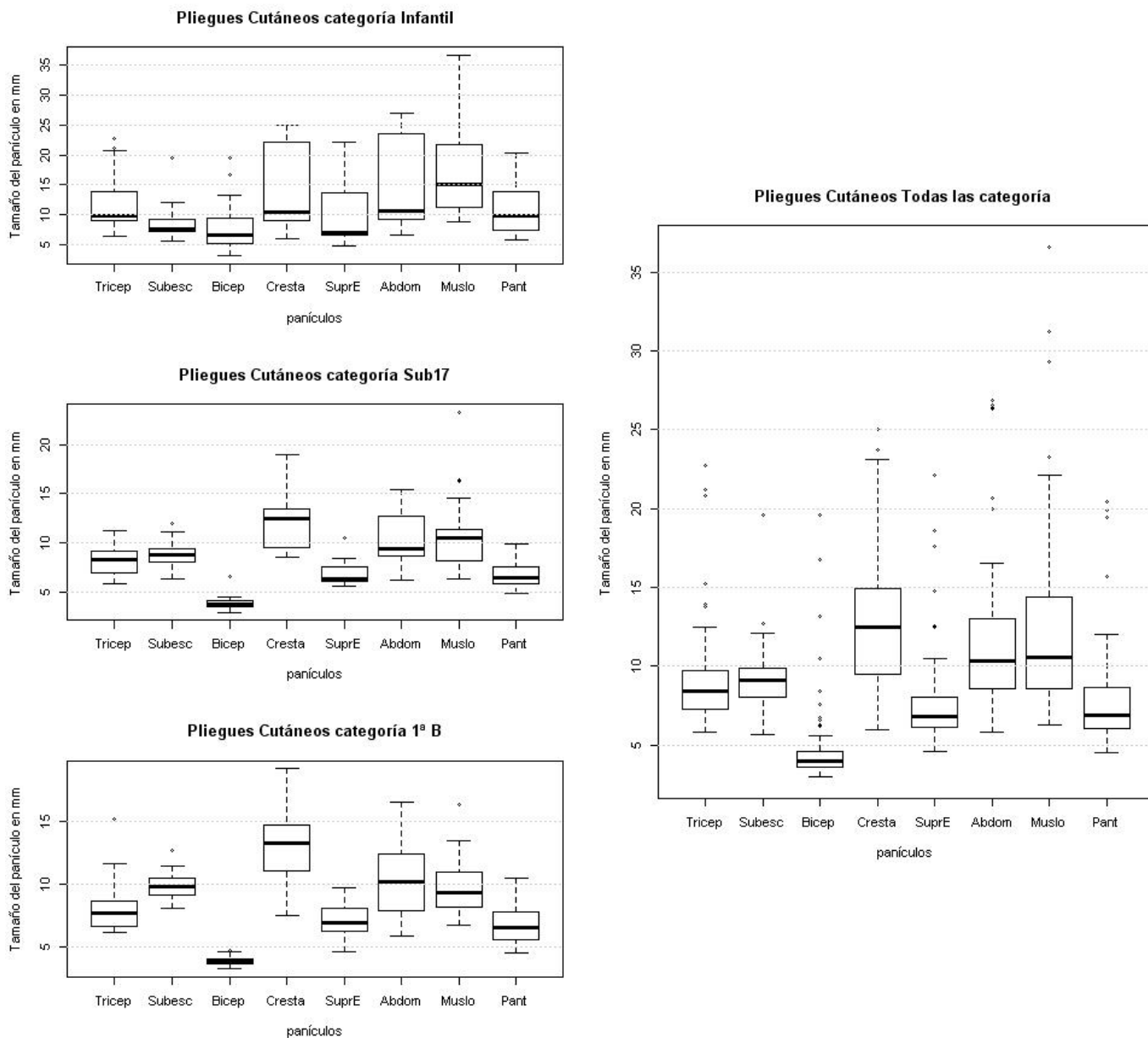


Figura 9. Panículos de grasa de los jugadores. En la izquierda se observan los panículos por categoría, en la derecha los panículos de todas las categorías. La dispersión de los datos se reduce al aumentar de categoría (y edad), las medidas de las tres categorías presentan una mayor dispersión

5.1.2 Índices corporales: IMC, IFC e IP

La comparación de los índices peso-talla es de interés, como se referenció en el apartado 3.3, a continuación se presentan diagramas de caja para cada índice en los cuales se compara las tres categorías, se evidencia nuevamente una menor dispersión de los datos en

la categoría 1ª B y una mayor en la infantil, La correlación de estos índices con la masa muscular y el tejido graso obtenidos con el método de fraccionamiento de 5 componentes se presentan en el apartado 5.3.4. Es de resaltar que el Índice de Forma Corporal presentó un valor casi igual para las tres categorías, este resultado sería interesante de explorar en posteriores investigaciones.

En la tabla 29 se presentan los resultados de la prueba Kruskal-Wallis para determinar si las diferencias entre los grupos son significativas. Para valores de $p < 0,05$ se considera que la diferencia es significativa, para valores de $p < 0,001$ se considera que la diferencia entre grupos es muy significativa. Los resultados evidencian que el índice de forma corporal no presenta diferencias significativas y que las diferencias entre la categoría 1ªB y sub 16 no es significativa para ningún índice. Las diferencias significativas se presentan entre los tres grupo y entre la cate3gorttia infantil y la sub 17, aunque no existe diferencias entre 1ªB y sub 17.

Índice	Tres grupos (df=2)		Inf. y 1ºB (df=1)		Inf. -sub17 (df=1)		Sub y 1ºB (df=1)	
	χ^2	p	χ^2	P	χ^2	p	χ^2	p
IMC	11,811	0,0027	10,293	0,0013	7,351	0,0067	0,727	0,3936
IFC	0,198	0,9056	0,014	0,9034	0,216	0,6417	0,066	0,7969
IP	29,970	3,10e-07	22,087	2,60e-06	23,011	1,61e-06	1,797	0,1800

Tabla 29. Resultados de Kruskal-Wallis. Para valores de $p < 0,05$ se considera que la diferencia es significativa, para valores de $p < 0,001$ se considera que la diferencia entre grupos es muy significativa. Se resaltan los resultados en los cuales las diferencias son significativas.

A continuación se presentan gráficos de caja para ilustrar los resultados de los índices corporales, estos se observa una reducción de la variabilidad en el caso de los índices IMC e IFC a medida que crece la edad, pero esto no se presenta en el IP. En la ilustración 8 se observa que el índice de forma corporal no suministra información para diferenciar los grupos, hecho soportado por la prueba Kruskal-Wallis, de igual forma que se evidencia que el índice ponderal y el de masa corporal son adecuados para diferenciar grupos de futbolistas.

Comparación de IMC

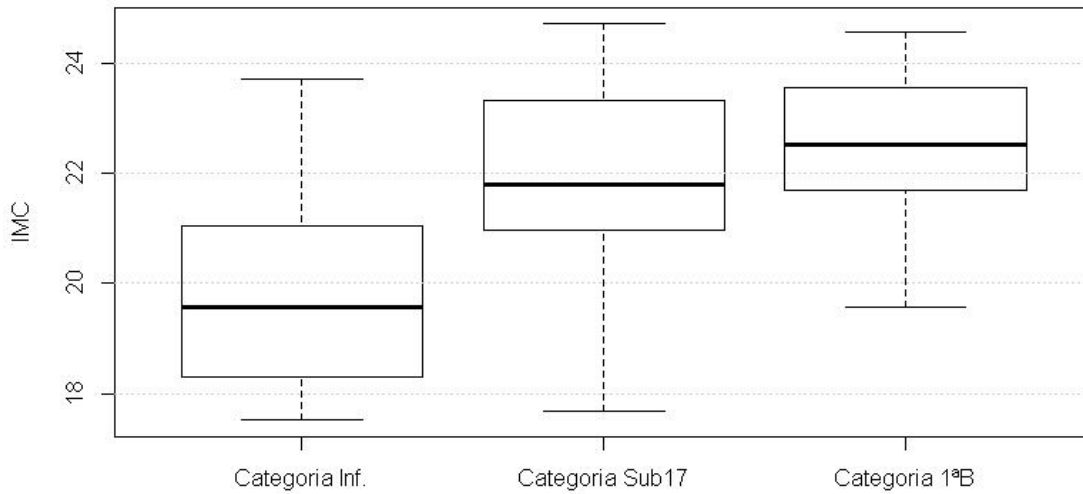


Figura 10. Comparación del Índice de Masa Corporal por categorías. Se observa una menor dispersión y un aumento del valor del índice con la edad. La media de la categoría infantil es 19,99 y la desviación 2,00; para la Sub 17 la media es 21,93 y la desviación 1,79; para 1º B la media es de 22,36 y la desviación 1,38

Comparación de IFC

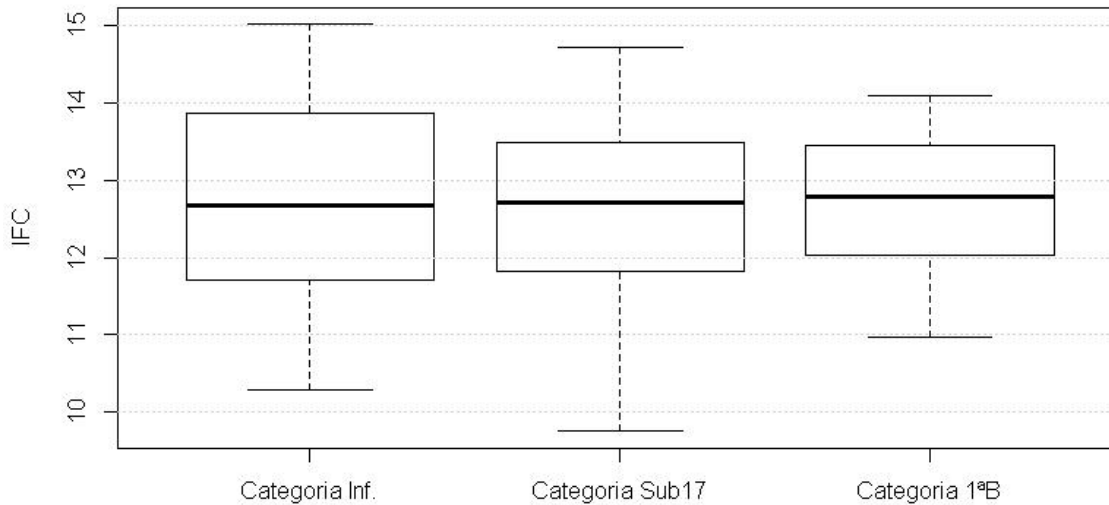


Figura 11 Comparación del Índice de Forma Corporal por categorías. El valor de este índice resultó ser casi igual en las tres categorías, evidenciándose una disminución de la dispersión coherente con los demás resultados. La media para la categoría infantil es de 12,78, la desviación es 1,41; la categoría Sub 17 la media es 12,54 y la desviación es 1,30; para la 1º B la media es de 12,70 y la desviación es 0,89.

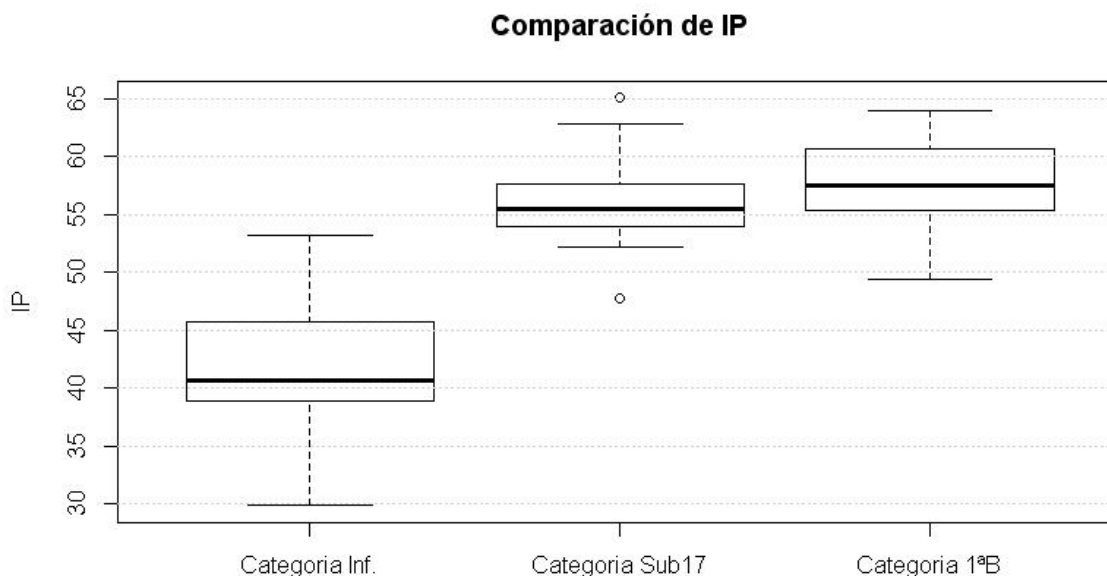


Figura 12. Comparación del Índice Ponderal por categoría. Los datos en este caso presentan en la sub 17 una menor dispersión que la 1ª B, y el valor de dicho índice es mayor en la categoría 1ª B. Para la categoría infantil la media es 42,43, la desviación es 6,36; en la Sub 17 la media es 55,83 y la desviación es 3,76; para la 1ª B la media es de 57,48 y la desviación es 4,02.

La discusión sobre la utilidad de estos índices como potenciales herramientas para evaluar condición física escapa a los fines de este trabajo y quedan como posibles temas de estudio, considerando la facilidad de su cálculo y el comportamiento numérico diferente de estos ante los mismos datos. Se recomienda revisar las referencias presentadas en el apartado 3.3

5.1.3 Somatotipo

Los resultados del cálculo del somatotipo se resumen en la somatocarta presentada en la Ilustración 10, en esta se observa el valor promedio de las tres categorías del Envigado Fútbol club (EFC). En las tablas 28, 29 y 30 se presenta el resumen de las variables calculadas para las tres categorías: infantil, sub 17 y 1ª B respectivamente.

Comparación ente divisiones del EFC

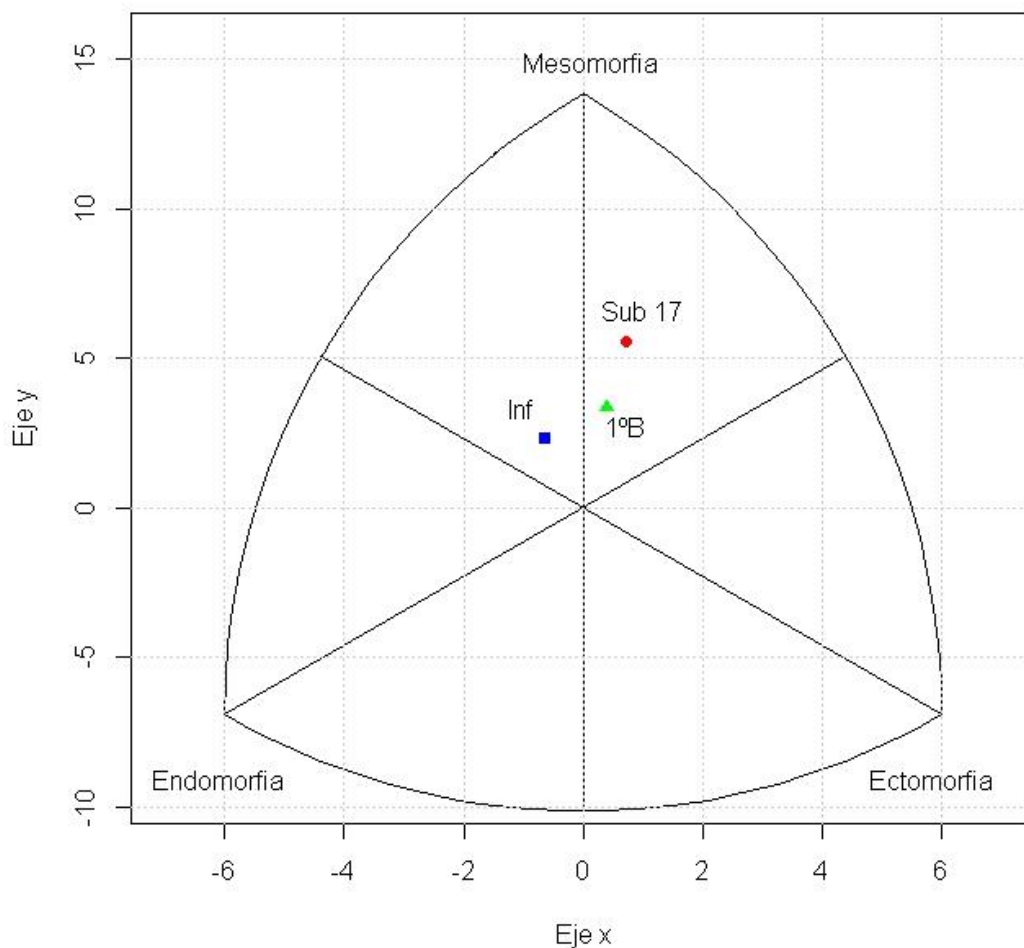


Figura 13. Somatocarta para las tres divisiones del Envigado Fútbol Club

En la Figura 14 se compara en la somatocarta el somatotipo promedio de la categoría sub 17 y la 1ª B, ambas divisiones inferiores del Envigado Fútbol Club con jugadores de 14 a 15 años del equipo profesional argentino Racing Club. Se evidencia una tendencia mayor hacia la mesomorfia en los jugadores de la sub 17. Una comparación rigurosa se puede realizar con el cálculo del SDD (Ecuación 41) para establecer la distancia entre los somatotipos, o gráficamente utilizar el método de superposición (ver apartado 3.4.1)

Comparación ente el EFC y el Racing Club

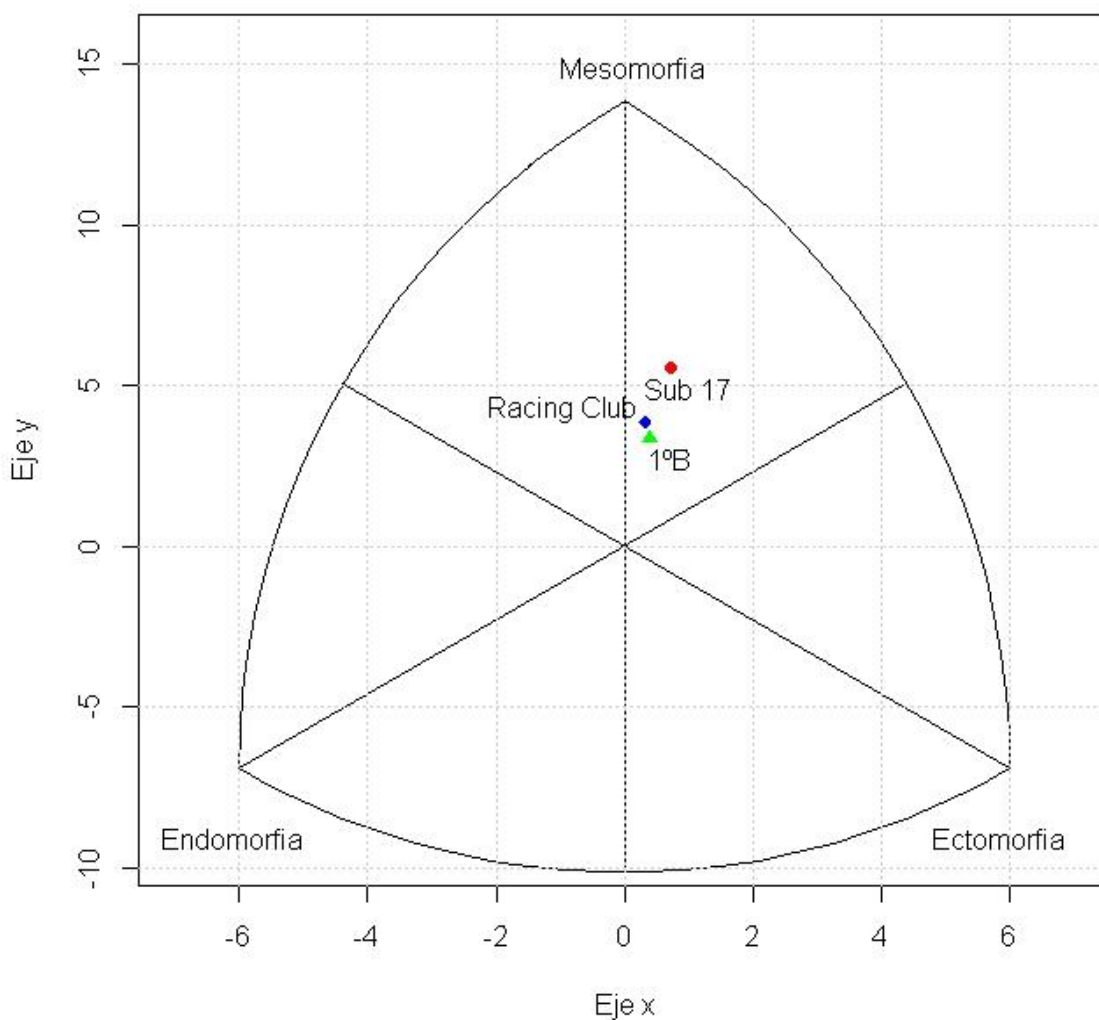


Figura 14. Comparación entre la división inferiores del Racing Club (14-15) de Argentina y la divisiones inferiores del Envido Fútbol Club (sub 17 y 1º B)

En la siguiente ilustración se expone la comparación de las divisiones inferiores del EFC con los datos de diferentes equipos profesionales obtenidos de literatura. Las referencias y una descripción de los equipos profesionales a los cuales corresponden las datas pueden verse en el apartado 1.5. Se evidencia que en los datos reportados, los equipos tienen una ligera tendencia hacia la Endomorfia y presentan un componente mayor de Mesomorfia que los jugadores del EFC.

Comparación ente divisiones del EFC y equipos profesionales

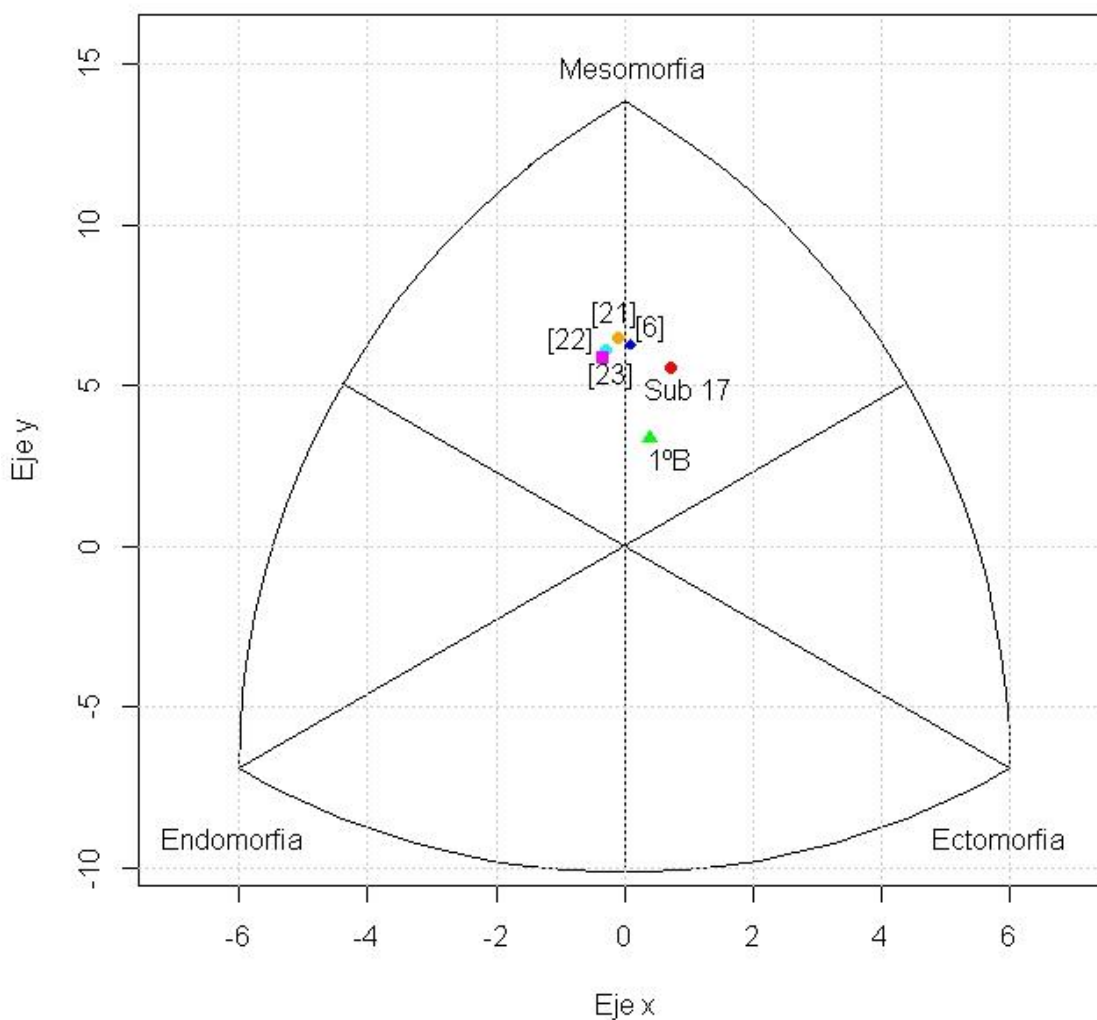


Figura 15. Comparación entre divisiones del EFC y equipos profesionales

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las variables calculadas a partir de los datos antropométricos. Se presenta para cada categoría los valores estadísticos: media, desviación estándar (DS), mínimo, máximo y mediana para Endomorfia, Ectomorfia y Mesomorfia, dichos datos pueden compararse con los presentados en el apartado 1,5 utilizando los métodos descritos en el apartado 3.4.1 y con las ecuaciones del apartado 4.4.1.

Categoría	Variable antropométrica	MEDIA	DS	Mínima	Máxima	Mediana
Infantil	Endomorfia	3,450	1,444	1,544	6,392	2,675
	Ectomorfia	2,807	1,153	1,138	5,077	2,817

	Mesomorfia	4,274	0,963	2,161	5,724	4,536
Sub 17	Endomorfia	2,295	0,377	1,503	3,073	2,348
	Ectomorfia	3,003	1,143	1,290	5,684	2,783
	Mesomorfia	5,432	1,320	2,630	7,597	5,385
1° B	Endomorfia	2,425	0,397	1,829	3,318	2,540
	Ectomorfia	2,825	0,752	1,724	4,372	2,719
	Mesomorfia	4,305	0,843	2,403	5,773	4,344

Figura 16. Resumen del somatotipo calculado

5.1.4 Composición corporal

El método de fraccionamiento de masa en 5 componentes de Ross y Kerr permite describir los jugadores en relación a su composición corporal, en las siguientes tablas (29, 30, 31) se presenta el resumen estadístico de los componentes calculados y de los porcentajes derivados de cada fracción. En el apartado 5.3 se estudia la correlación de estos con los índices corporales

Variable antropométrica	MEDIA	DS	Mínima	Máxima	Mediana
Edad Decimal (años)	12,930	0,207	12,740	13,300	12,850
Peso (kg)	49,390	8,154	33,200	64,100	46,600
Talla (cm)	156,800	9,717	137,700	175,300	157,300
Masas Muscular (kg)	19,730	3,997	12,700	26,720	18,390
Masa Adiposa (kg)	15,640	4,986	9,720	26,500	13,730
Masa Ósea (kg)	5,345	1,178	3,766	7,489	5,666
Masa Residual (kg)	5,292	0,964	3,759	7,116	5,259
Masa Piel (kg)	3,585	0,331	2,338	4,140	3,691
% Error en Masa Predicha	1,113	6,355	-10,580	10,430	3,393
% Masa Muscular	40,340	3,830	32,940	43,740	41,230
% Masa Adiposa	31,490	5,886	25,960	42,580	30,740
% Masa Ósea	10,980	1,938	8,548	14,130	10,460
% Masa Residual	10,870	1,102	9,073	12,260	10,990
% Masa Piel	6,317	0,799	5,032	7,347	6,413

Tabla 30. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría infantil.

Variable antropométrica	MEDIA	DS	Mínima	Máxima	Mediana
Edad Decimal (años)	16,01	0,281	14,05	16,32	16,22
Peso (kg)	67,33	4,658	58,20	79,10	66,30
Talla (cm)	175,4	5,700	162,8	186,1	174,7
Masas Muscular (kg)	32,20	4,062	24,23	38,85	31,99
Masa Adiposa (kg)	15,90	1,596	13,40	18,29	15,81
Masa Ósea (kg)	8,416	0,874	7,024	10,597	8,415
Masa Residual (kg)	7,962	0,907	6,457	9,589	8,099
Masa Piel (kg)	3,761	0,154	3,477	4,107	3,768
% Error en Masa Predicha	-1,324	4,140	-10,360	8,907	-0,927
% Masa Muscular	47,06	4,196	41,28	54,07	47,66
% Masa Adiposa	23,38	2,825	19,99	27,99	22,97
% Masa Ósea	12,35	1,516	10,47	15,04	12,29
% Masa Residual	11,68	1,638	10,13	14,88	11,71
% Masa Piel	5,536	0,397	5,108	6,239	5,570

Tabla 31. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría Sub17.

Variable antropométrica	MEDIA	DS	Mínima	Máxima	Mediana
Edad Decimal (años)	17,77	0,685	16,55	18,69	18,07
Peso (kg)	69,45	5,188	59,30	77,40	69,20
Talla (cm)	176,2	4,607	167,1	186,3	174,8
Masas Muscular (kg)	32,91	3,931	23,90	40,78	33,00
Masa Adiposa (kg)	16,14	1,957	13,01	21,60	15,97
Masa Ósea (kg)	7,399	1,030	4,776	8,614	7,412
Masa Residual (kg)	7,946	0,888	6,507	10,120	8,031
Masa Piel (kg)	3,824	0,174	3,531	4,140	3,807
% Error en Masa Predicha	1,8360	3,569	-4,6850	8,8200	1,2430
% Masa Muscular	48,16	4,192	40,75	53,79	48,50
% Masa Adiposa	23,69	3,374	21,35	30,79	23,07
% Masa Ósea	10,86	2,099	6,30	12,25	11,06
% Masa Residual	11,65	0,801	10,47	12,81	11,71
% Masa Piel	5,632	0,491	5,036	6,531	5,587
Endomorfia	2,425	0,397	1,829	3,318	2,540
Ectomorfia	2,825	0,752	1,724	4,372	2,719
Mesomorfia	4,305	0,843	2,403	5,773	4,344

Tabla 32. Resumen estadístico de las variables calculadas por el método de fraccionamiento de masas para la categoría 1ªB

En las tablas se puede apreciar que el error de la masa predicha por el método y la masa medida del sujeto presenta errores promedio bajos, lo cual permite plantear que el método representa adecuadamente la composición corporal, o por lo menos tiene un buen grado de consistencia. En las ilustraciones 12 a 16 se representan los datos por medio de caja, permitiendo visualizar en una escala porcentual las diferencias entre las tres categorías. Resalta nuevamente la poca dispersión de la categoría 1ª B la cual puede ser explicada por factores como un proceso de selección de los deportistas y resultados del entrenamiento por años, El componente adiposo ocupa un porcentaje importante de los niños de la división infantil, como se evidencia en la ilustración 12.

Se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa, los resultados se resumen en la tabla siguiente. Se evidencia que en el componente adiposo no se presenta diferencia significativa entre los grupos etarios agrupados por categorías, además entre la categoría 1ªB y sub 16 no existen diferencias significativas

Componente	Tres grupos (df=2)		Inf. y 1ºB (df=1)		Inf. -sub16 (df=1)		Sub y 1ºB (df=1)	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
M. Adiposa	3,186	0,2032	2,601	0,1068	2,226	0,1357	0,133	0,7146
M. muscular	30,246	2,70e-07	23,076	1,55e-06	23,631	1,16e-06	0,371	0,5423
M. Ósea	30,833	2,01e-07	15,225	9,54e-05	24,259	8,41e-07	8,164	0,0042
M. Residual	29,418	4,09e-07	22,414	2,19e-06	23,320	1,37e-06	0,001	0,9676
M. Piel	30,476	2,41e-07	23,410	1,30e-06	23,011	1,61e-06	1,087	0,2971

Tabla 33. Pruebas Kruskal-Wallis para las fracciones corporales.

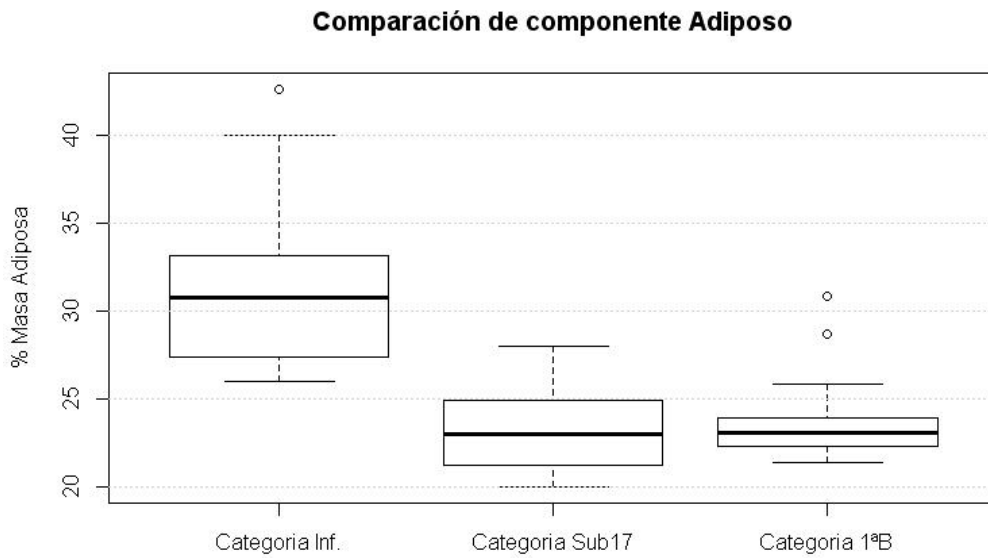


Figura 17 Comparación en diagrama de caja para el componente adiposo de las tres divisiones

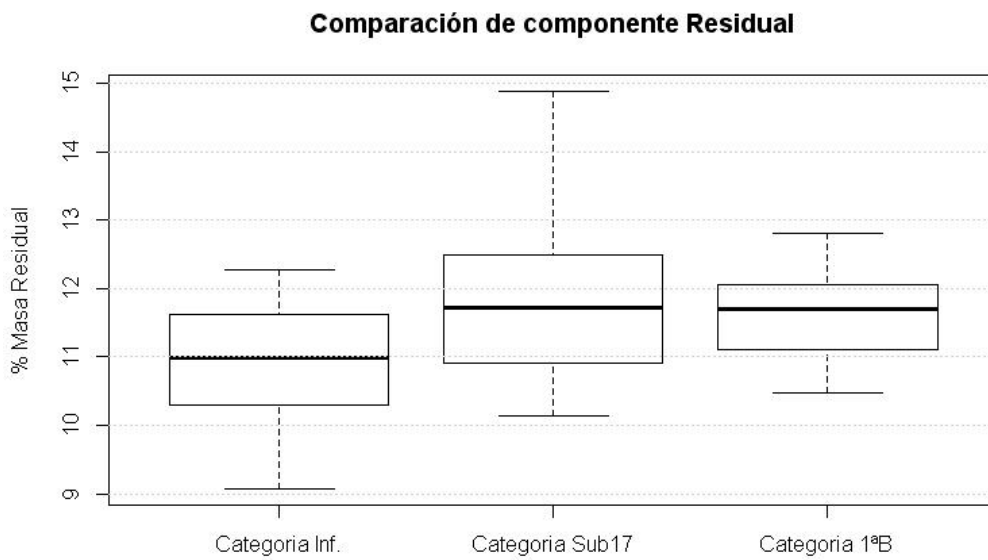


Figura 18. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa residual de las tres categorías

Se evidencia que el componente residual tiene un peso porcentual similar en las tres categorías y presenta desviaciones relativamente cercanas, de igual forma el componente de

masa asociado con la piel porcentualmente es cercano para la categoría sub 17 y 1ª B, presentando una mayor dispersión en la categoría infantil y un peso relativo mayor de alrededor de un 15% como se puede observar en la ilustración 14. La prueba Kruskal-Wallis no mostro evidencia de diferencias significativas entre los tres grupos.

En los componentes de masa de la piel, masa ósea, masa adiposa y masa muscular se observa la tendencia a la reducción de la variabilidad (varianza), además la prueba Kruskal-Wallis, aporta la existencia de diferencias significativas entre los individuos de la categoría infantil y las categorías 1ªB y sub 17, aunque entre estas últimas no existe tal diferencia significativa. Se debe recordar que las categorías 1ªB y sub 17 no presentan una diferenciación estricta entre las edades, encontrándose que cerca del 55% de la muestra se encuentra entre los 15 y 17 años

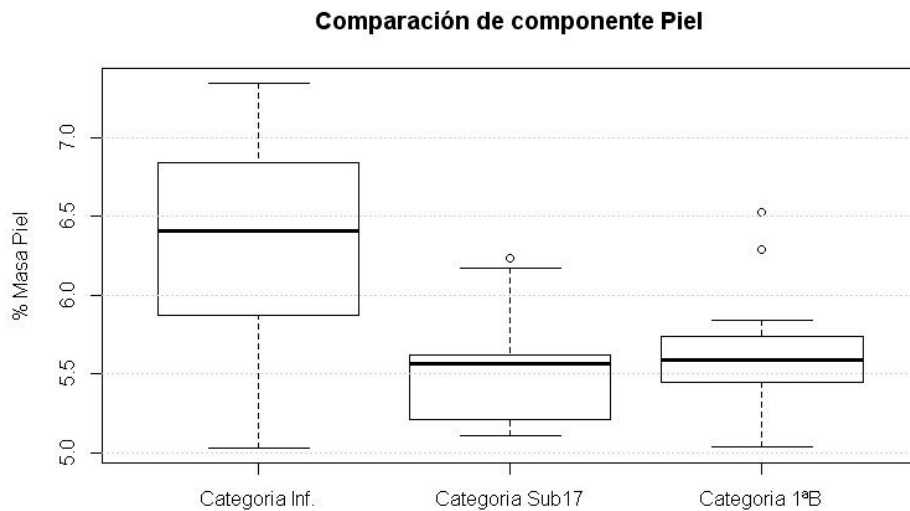


Figura 19. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa de la piel de las tres categorías

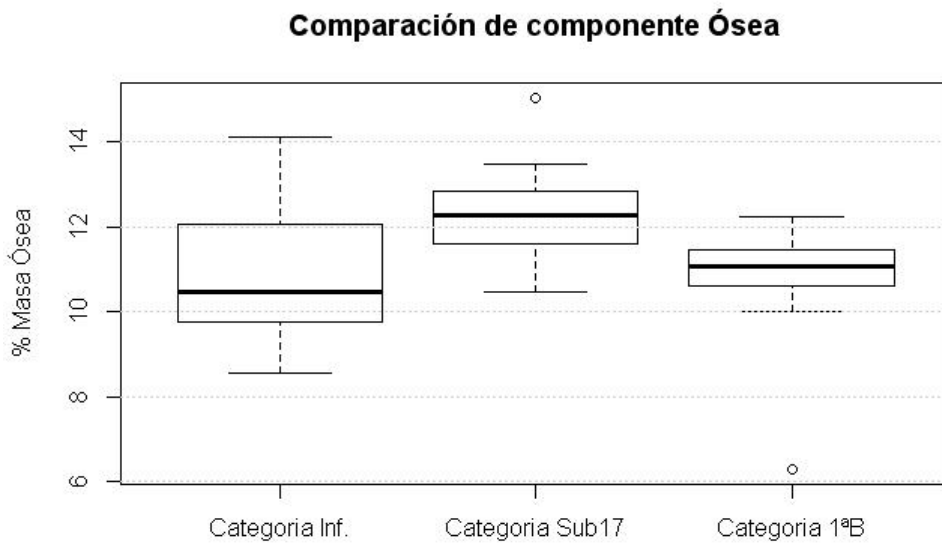


Figura 20. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa ósea de las tres categorías

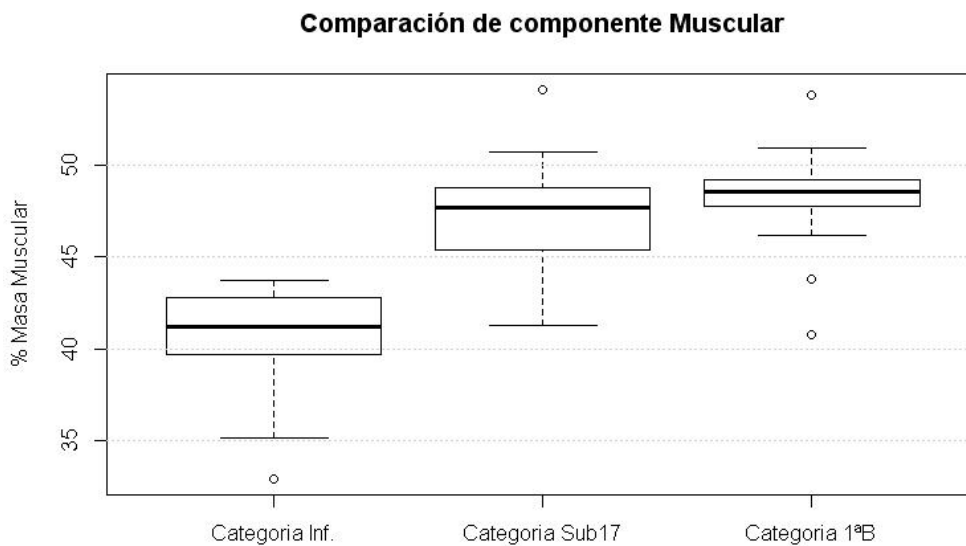


Figura 21. Comparación con el diagrama de caja para el componente de masa Muscular de las tres categorías

El componente óseo tiene mayor peso porcentual en la categoría sub 17 y tiene valores similares entre la categoría infantil y 1ª B (ilustración 15), sin embargo al observar las

ilustraciones 12 y 16 se puede afirmar que las diferencias porcentuales entre los niños y los jugadores de la categoría de edad mayor se presentan en el componente adiposo y el muscular, siendo característico la poca dispersión de los datos en la 1ª B. A continuación se presenta nuevamente el resumen estadístico del error relativo entre la masa predicha por el método de Ross y Kerr y la masa medida para todos los individuos estudiados, adicionalmente la representación dicho resumen por medio de una caja, para insistir en la adecuada respuesta del método.

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-10,5800	-1,9840	0,4437	0,4322	3,9390	10,4300

Tabla 34. Error de la masa predicha por el método de Ross y Kerr respecto a la masa medida

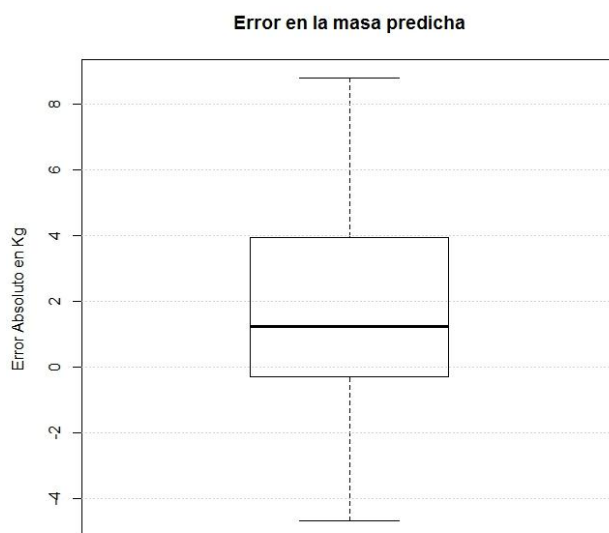


Figura 22. Caja de bigotes del error en la masa predicha

5.2 Resultados de variables de Función

5.2.1 VO_{2max}

De los 55 jugadores solo se pudieron realizar pruebas de consumo de oxígeno a algunos de ellos, se utilizaron dos tipos de pruebas, sin embargo no son realizadas a los mismos jugadores por lo cual no es posible realizar una comparación entre ambas. Resalta que los valores obtenidos con la prueba de 1000m son mayores que los reportados (ver apartado 1.5), lo cual permite pensar que las pruebas han sobreestimado las capacidades funcionales

de los individuos, al respecto es necesario adelantar estudios más detallados en los cuales además se considere la influencia de la altura sobre el nivel del mar.

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	n
(VO2Max1000m)	59,48	60,51	61,84	61,72	62,80	64,06	23
(VO2MaxCN)	49,84	53,53	58,16	56,47	58,53	60,95	17

Tabla 35. Resumen estadístico de las pruebas de consumo de oxígeno.

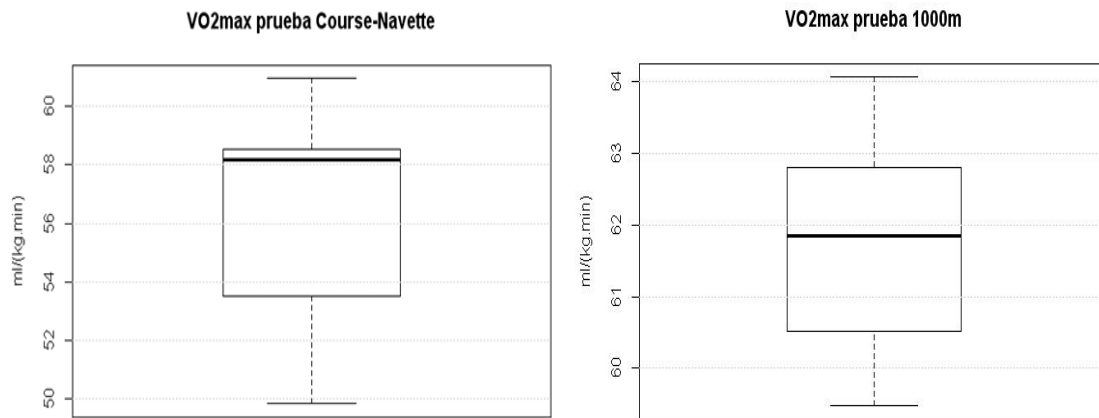


Figura 23. Caja de bigotes para pruebas de VO2max

En la ilustración se presentan los resultados de las dos pruebas de consumo de oxígeno realizadas, se insiste en que dichos valores deben estar sobreestimados, adicionalmente la diferencia de valores entre ambas pruebas de VO2max es grande en relación con los valores reportados para deportistas de alto rendimiento (ver apartado 1.5.2)

5.3 Estimación de tasas metabólicas

Se utilizaron 5 métodos para estimar la tasa metabólica, el primero considerando la superficie corporal y el método de Benedict y Mifflin los cuales consideran peso, talla, edad y sexo para estimar la tasa metabólica basal, y la tasa metabólica en reposo con los métodos que utilizan la masa magra como el de Cunningham y con la estimación de la masa magra a partir de la medida del panículo tríceps. En la tabla siguiente se resumen los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis en los cuales se puede ver que no existe diferencia significativa entre la categoría 1ªB y sub 16, pero si entre estas y la infantil

Componente	Tres grupos (df=2)		Inf. y 1°B (df=1)		Inf. -sub16 (df=1)		Sub y 1°B (df=1)	
	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
TMB (s. corp)	30,476	2,41e-07	23,410	1,30e-06	23,011	1,61e-06	1,087	0,297
TMB (Bene)	28,858	5,41e-07	21,762	3,08e-06	22,705	1,88e-06	0,477	0,489
TMB (Miffin)	28,802	5,56e-07	21,762	3,08e-06	22,705	1,88e-06	0,371	0,542
TMB (Cunn)	31,082	1,78e-07	23,076	1,55e-06	25,217	5,12e-07	2e-04	0,989
TMB (Tricip)	31,082	1,78e-07	23,076	1,55e-06	25,217	5,12e-07	2e-04	0,989

Tabla 36. Resultados de la prueba Kruskal-Wallis. Se resalta que no existe diferencias significativas entre las categorías 1°B y sub 16, pero si entre estas y la infantil.

5.3.1.1 Tasa de Metabolismo Basal

El primer método usado para estimar la tasa metabólica utiliza la superficie corporal como indicador del tamaño corporal. En la ilustración 20 se observa la superficie corporal calculada con el método de Ross y Kerr [45] (ver apartado 3.7.1.1). El comportamiento estadístico es igual al reportado para la tasa metabólica a partir de la superficie corporal reportada en la tabla anterior, evidenciándose que no hay diferencias significativas entre los individuos de las categorías 1°B y sub 16.

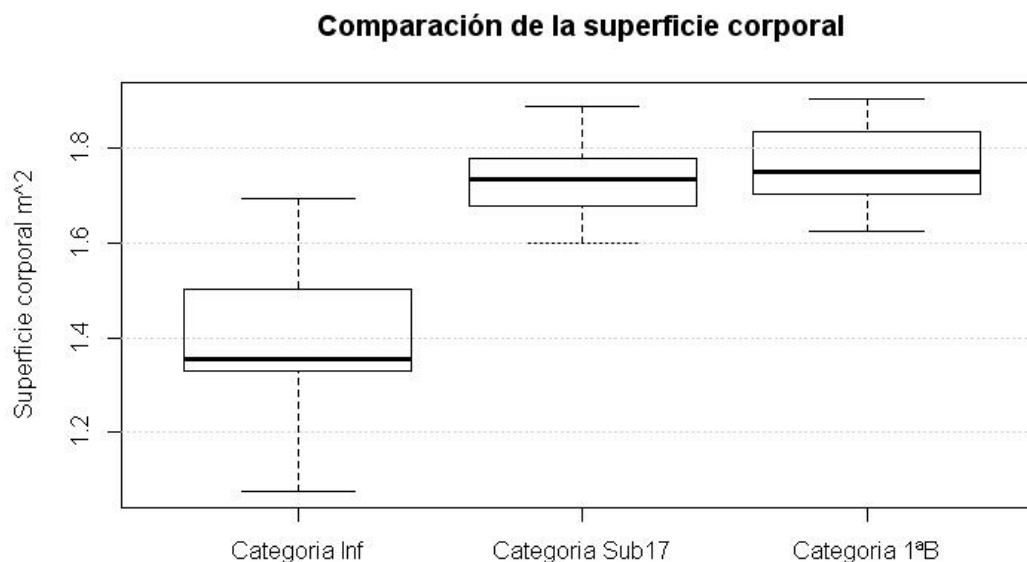


Figura 24. Gráfico de caja de la superficie corporal calculada para las tres categorías estudiadas

En la tabla siguiente se presenta un resumen estadístico de los valores de superficie corporal calculados.

SUPERFICIE CORPORAL CALCULADA							
CATEGORÍA	Mínima	1sr Cuartil	Mediana	Media	3st Cuartil	Máxima	SD
Categoría infantil	1,079	1,330	1,354	1,398	1,501	1,695	0,152
Categoría Sub 17	1,600	1,679	1,734	1,730	1,779	1,890	0,071
Categoría 1ºB	1,625	1,702	1,752	1,759	1,835	1,905	0,080

Tabla 37. Resumen estadístico de los valores de superficie corporal.

Se observa que los valores calculados por el método de la superficie corporal y el de Benedict son cercanos, pero están sobreestimados respecto al método de Mifflin

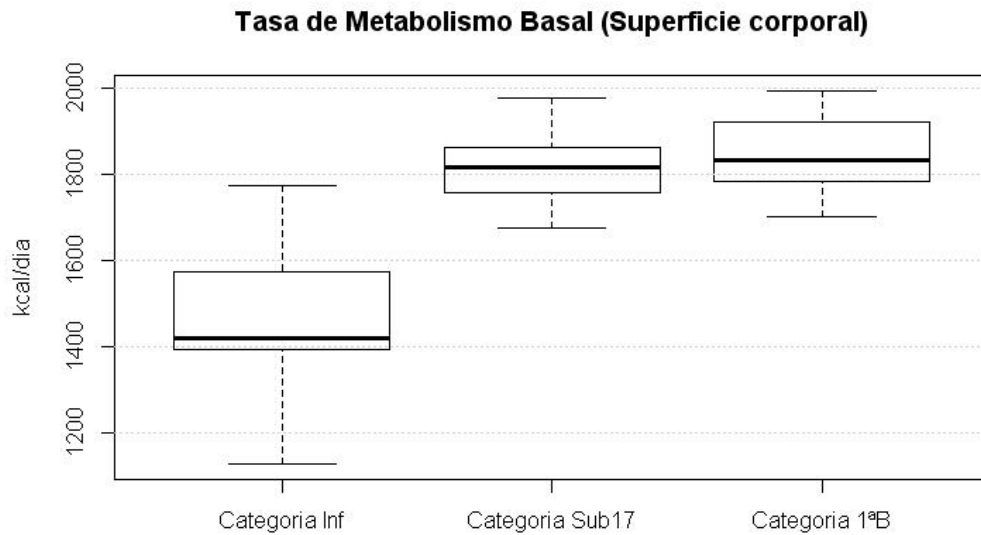


Figura 25. Tasa de Metabolismo Basal calculado a partir de los datos de superficie corporal y los datos de la Tabla 13

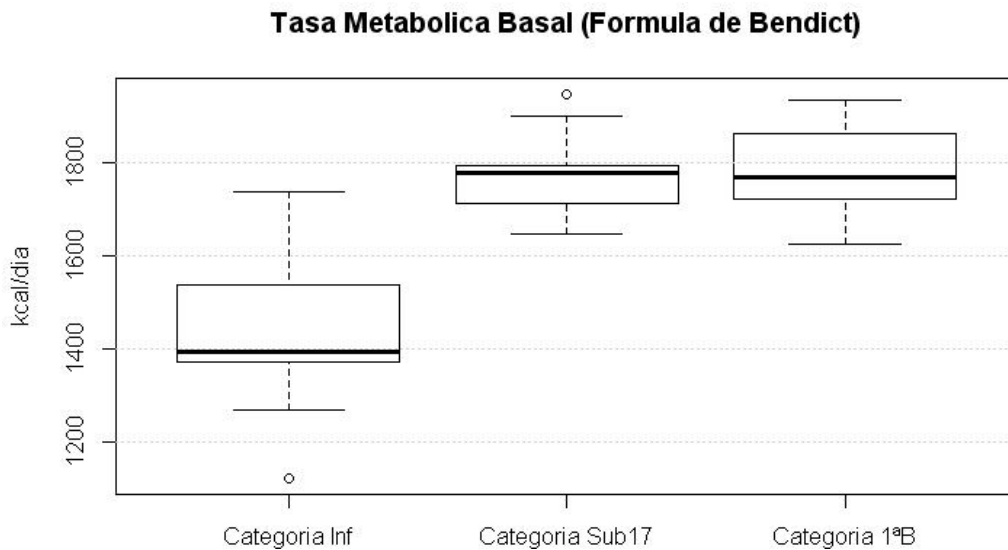


Figura 26. Tasa de Metabolismo Basal calculada con la fórmula de Benedict

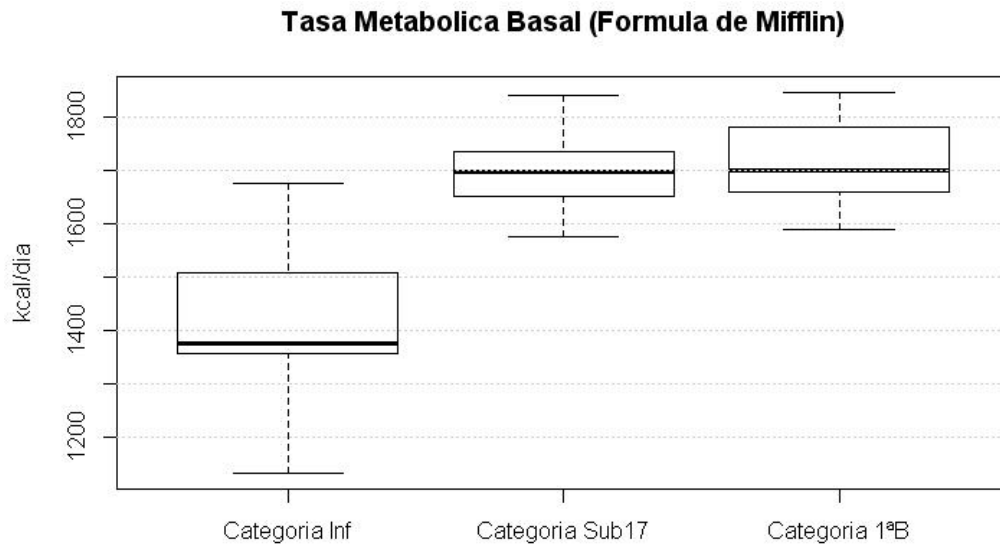


Figura 27. Tasa de Metabolismo basal calculada con la fórmula de Mifflin, la cual es más general que la de Benedict

5.3.1.2 Tasa metabólica en reposo

Para estimar la tasa metabólica en reposo se obtuvo previamente la masa magra (FFM) utilizando el fraccionamiento de masa descrito en el apartado 4.5 y cuyos resultados se pueden consultar en el apartado 5.1.4

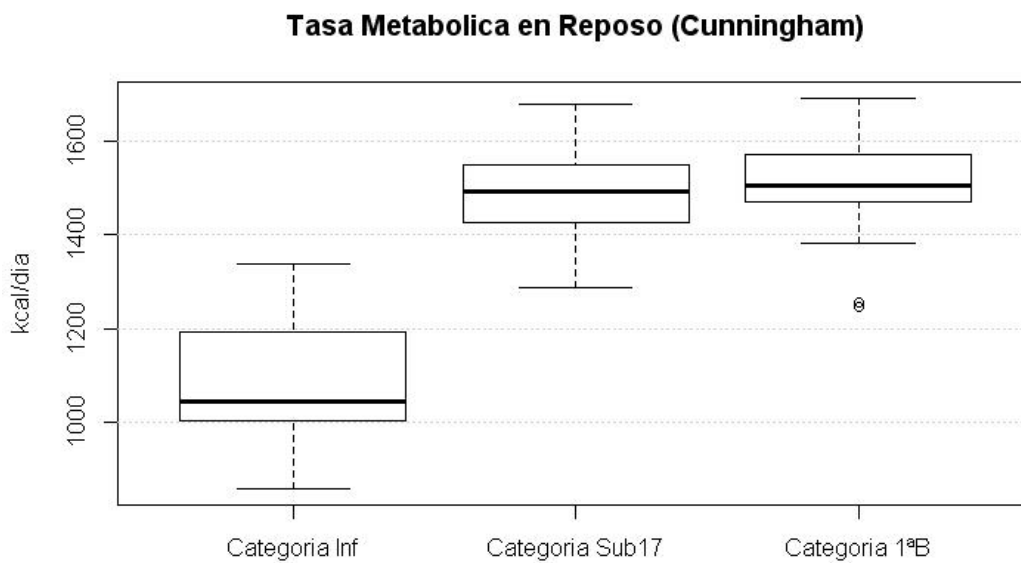


Figura 28. Tasa de Metabolismo basal calculada con la fórmula de Cunningham

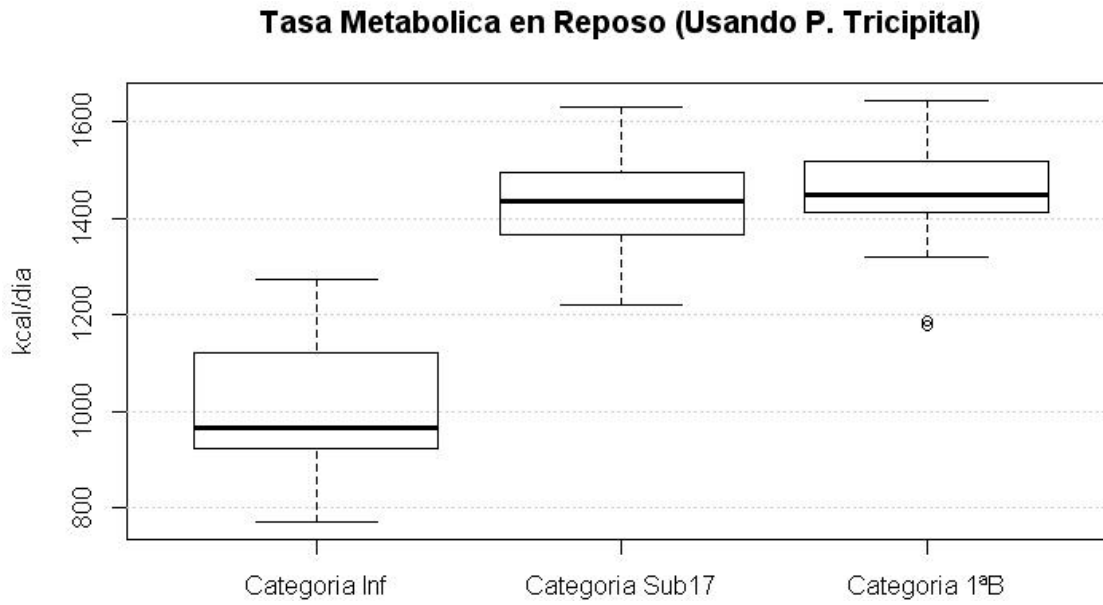


Figura 29. Tasa de Metabolismo basal calculada con fórmula que usa el panículo tricipital

En el artículo de Cunningham [62] se reporta una ecuación para calcular la tasa metabólica en reposo a partir de una estimación del FFM utilizando solo la medida del panículo tricipital, en la ilustración 25 se presenta los resultados. Es necesario señalar que esta valor es muy inferior al obtenido con los otros métodos, por lo que podría decirse que este método subestima la tasa metabólica en reposo

5.3.1.3 Comparación de tasas metabólicas

Al usar diferentes métodos para estimar las tasas metabólicas a partir de medidas antropométricas se tiene la posibilidad de comprarlos, obteniéndose una situación que es interesante estudiar en trabajos posteriores. Las estimaciones utilizadas para la tasa metabólica dan valores superiores a las de las tasas de metabolismo en reposo, lo cual no es correcto, ya que siempre la tasa de metabolismo en reposo es superior a la tasa de metabolismo basal por definición (ver apartado 3.5.4 y 3.5.5). En la ilustración se observa la comparación entre las tasas para cada categoría y la prueba de Kruskal-Wallis (tabla 36) se prueba que existen diferencias significativas entre la categoría infantil y las otras dos.

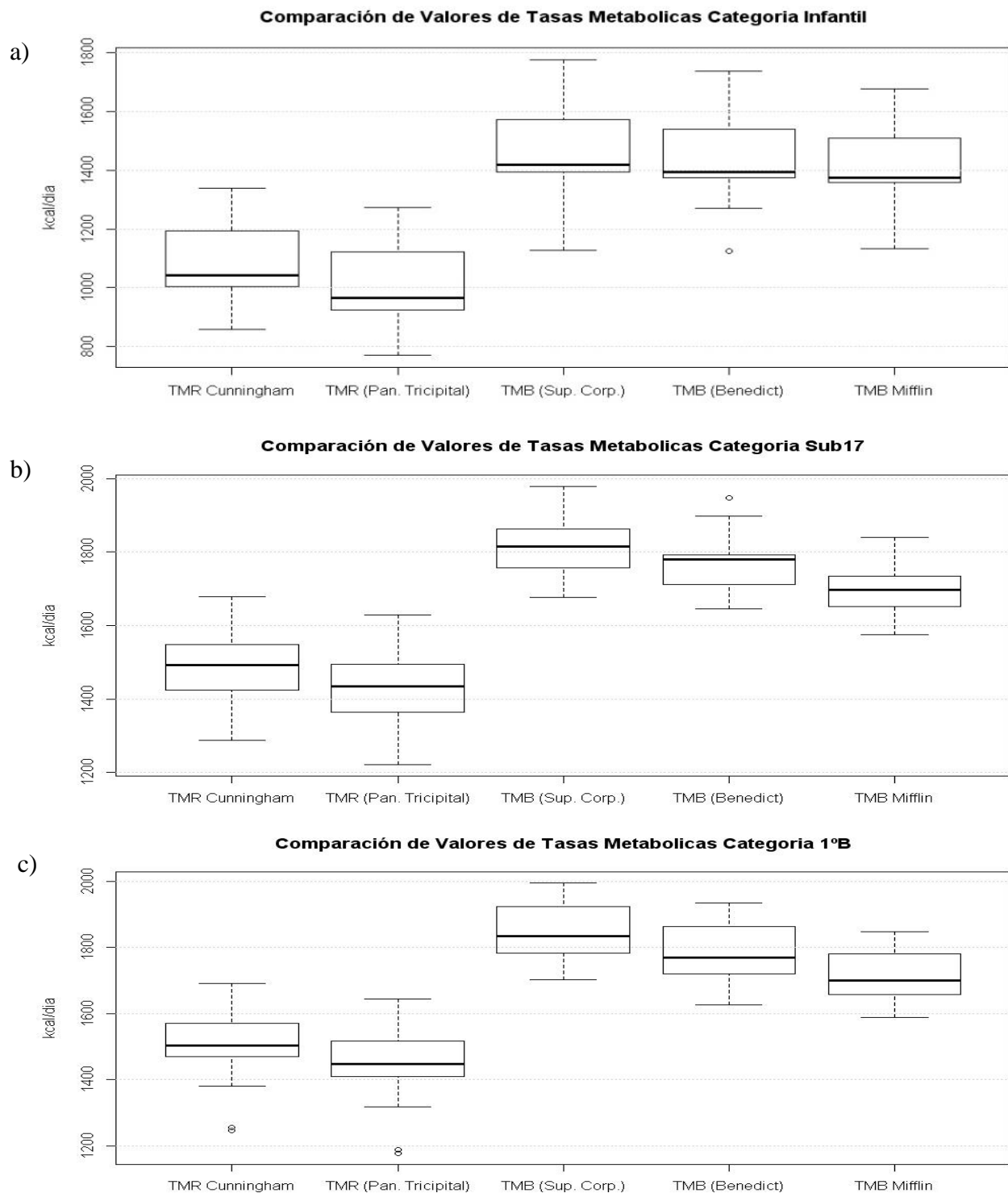


Figura 30 Comparación de las tasas metabólicas obtenidas por los diferentes métodos de la categorías a) infantil, (b) categoría Sub 17 y (c) 1ºB. Se observa que con el método de Cunningham y la ecuación de regresión que utiliza el panículo tricípíte se subestima las tasas metabólicas en reposo TMR en relación a las tasas basales las cuales deberían ser más bajas que las de reposo

5.4 Asociación entre morfología y las pruebas de funcionalidad

Se exploró la asociación existente entre la morfología corporal y la prueba de función de consumo máximo de oxígeno, se realiza por medio del estudio de la correlación de las variables. Para interpretar las correlaciones es necesaria la información contenida en la tabla 33. El método de Pearson utiliza como estadístico la prueba t, en la tabla se presenta los valores de dicho estadístico para 21 y 53 grados de libertad (G l) y con valores de confianza (α) entre 0,25 y 0,005.

G l	α	0,25	0,15	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
21	t	0,686	1,062	1,323	1,720	2,079	2,517	2,831
53	t	0,679	1,046	1,297	1,674	2,005	2,398	2,671

Tabla 38. Valores de la distribución t utilizados para determinar la significación estadística de las correlaciones.

5.4.1 Correlación de coeficiente digital y rendimiento en prueba de 1000m

En la tabla 39 se presentan las correlaciones entre los coeficientes digitales y los valores de consumo máximo de oxígeno, además se explora si dicha correlación es mayor que la presentada con la masa grasa o la masa muscular. Las correlaciones no son estadísticamente significativas aunque resalta que dan valores superiores las correlaciones con los índices digitales que con los porcentajes de tejido adiposo y muscular. De acuerdo a la tabla 38 se podría interpretar que con una confiabilidad entre el 15% y 10% el coeficiente digital derecho (R d 2d4d) explica en un 27% el resultado obtenido en la prueba de VO₂max, en igual forma el coeficiente digital izquierdo (R i 2d4d) explica un 30% del resultado con una confiabilidad entre el 10% y el 5%. Si bien estos resultados no son estadísticamente significativos la interpretación se podría sustentar por el trabajo de [77]

Datos correlacionados	r	p	t	Grados de Libertad
R d 2d4d^VO ₂ max	-0,27	0,212	-1,287	21
R i 2d4d^VO ₂ max	-0,30	0,159	-1,459	
% Masa muscular y VO ₂ max	0,00	0,996	-0,004	
% Grasa corporal y VO ₂ max	-0,04	0,834	-0,211	

Tabla 39. Correlación entre coeficiente digital y consumo máximo de oxígeno, se presenta para compra la correlación entre el consumo de oxígeno y el porcentaje masa muscular y masa grasa obtenidos con el método de Ross y Kerr

5.5 Asociación entre coeficiente digital y estructura corporal.

Explorando la posible relación entre el coeficiente digital y la morfología corporal se aprovechó la disponibilidad de los somatotipo y los coeficientes digitales para estudiar las correlaciones entre este indicador ontogénico y el tipo corporal. En la tabla 40 se presentan las correlaciones, evidenciándose una correlación entre mesomorfia y coeficiente digital de la mano derecha estadísticamente significativo. Una hipótesis para esta correlación es que el coeficiente digital refleja un potencial desarrollo muscular mayor (ver apartado 1.4), y la mesomorfia es un indicador del grado de muscularidad de un individuo.

Es también interesante ver que las correlaciones con los otros tipos corporales son bajas y no significativas, además de que esta correlación solo se presenta con el coeficiente de la mano derecha. En el siguiente apartado se examina la asociación entre mesomorfia y coeficiente digital

Datos correlacionados	r	p	t	Grados de Libertad
Mesomorfia y CD (d)	-0,304	0,023	-2,326	53
Ectomorfia y CD (d)	0,0760	0,580	0,555	
Endomorfia y CD (d)	0,0697	0,612	0,509	
Mesomorfia y CD (i)	-0,0903	0,511	-0,660	
Endomorfia y CD (i)	-0,0678	0,622	-0,494	
Ectomorfia y CD (i)	0,1311	0,34	0,962	

Tabla 40. Correlaciones entre los coeficientes digitales derecho CD (d) e izquierdo CD (i) con los tres tipos corporales. Se presenta el valor de r, el de p y el de la distribución t para 53 grados de libertad

5.5.1 Asociación entre Mesomorfia y cociente 2D:4D

Para examinar la asociación además de la correlación ya presentada se utilizó el método correlaciones parciales bivariadas controlando para la variación con la edad (EdadD), estatura (EE) y Perímetro de la muñeca (PeMuÑ).

El control de la edad se necesita por la heterogeneidad que introduce en las dimensiones corporales incluir individuos infantiles, el control de la estatura permite controlar el efecto del tamaño del cuerpo y el control del perímetro de la muñeca permite controlar el efecto de la constitución (individuos brevilíneos frente a longilíneos).

La mesomorfia posee asociación significativa ($p < 0.05$) con Dr (asimetría del índice 2D:4D) aunque baja y negativa ($r_p = -0.296$), y también con el cociente 2D:4D de la mano derecha

($p < 0.01$) siendo su correlación algo mayor ($r = -0.385$), ni la asimetría del cociente, ni sus valores absolutos se asocian a la masa muscular absoluta obtenida en el modelo de fraccionamiento

		Correlaciones							
Control Variables		Dr	Endomorfo	Ectomorfo	Mesomorfo	ri2d4d	rd2d4d	M. Muscular	
EdadD & EE & PeMuñ	Dr	Correlación	1,000	,102	,077	-,296	-,437	,567	-,204
		Significancia (2-colas)	,	,473	,588	,033	,001	,000	,147
		df	0	50	50	50	50	50	50
	Endomorfo	Correlación	,102	1,000	-,483	,065	,007	,105	,151
		Significancia (2-colas)	,473	,	,000	,645	,959	,458	,284
		df	50	0	50	50	50	50	50
	Ectomorfo	Correlación	,077	-,483	1,000	-,718	,136	,199	-,819
		Significancia (2-colas)	,588	,000	,	,000	,336	,157	,000
		df	50	50	0	50	50	50	50
	Mesomorfo	Correlación	-,296	,065	-,718	1,000	-,108	-,385	,787
		Significancia (2-colas)	,033	,645	,000	,	,447	,005	,000
		df	50	50	50	0	50	50	50
	ri2d4d	Correlación	-,437	,007	,136	-,108	1,000	,494	-,069
		Significancia (2-colas)	,001	,959	,336	,447	,	,000	,629
		df	50	50	50	50	0	50	50
	rd2d4d	Correlación	,567	,105	,199	-,385	,494	1,000	-,260
		Significancia (2-colas)	,000	,458	,157	,005	,000	,	,063
		df	50	50	50	50	50	0	50
	Masa Muscular	Correlación	-,204	,151	-,819	,787	-,069	-,260	1,000
		Significancia (2-colas)	,147	,284	,000	,000	,629	,063	,
		df	50	50	50	50	50	50	0

Tabla 41. Se presenta las correlaciones bivariadas entre los coeficientes digitales izquierdo ri2d4d, derecho rd2d4d, la diferencia de los coeficientes izquierdo y derecho Dr, los tipos corporales (mesomorfo, ectomorfo, endomorfo) y la masa muscular. Estas correlaciones están controladas por la variación de la edad (EdadD), la estatura (EE) y el perímetro de la muñeca (PeMuñ).

Aunque la mesomorfía se asocia a la masa muscular absoluta ($r=0,787$, $p < 0,001$) ésta representa la muscularidad relativa al tamaño del sujeto y tiene relación con la eficiencia energética y la potencia física del mismo. Para individuos de similar tamaño y constitución, la asociación encontrada, en este estudio, entre la mesomorfía y el índice derecho 2D:4D así como la asimetría de la mano, podría estar relacionada con cierta determinación prenatal del incremento de la muscularidad relativa de los deportistas que muestran asimetría en la longitud de los dedos de las manos debida a su desarrollo. Esta determinación prenatal se apoya en los estudios prenatales sobre el efecto de la testosterona en el desarrollo muscular.

La asociación entre mesomorfia e índices 2D:4D se ha estudiado mediante Multidimensional Scaling (MDS), por el procedimiento ALSCAL del SPSS. Se ha obtenido la matriz de distancias euclidianas entre un conjunto de variables estandarizadas para la desviación típica ($s=1$) y las coordenadas bidimensionales de las mismas (Figura 1), la bondad de ajuste del modelo de distancias escalado se ha comprobado mediante la inspección visual del ajuste lineal de las distancias y las disparidades (Figura 2), y comprobando que el valor de RSQ cuando el modelo converge es cercano a uno ($RSQ=0,9997$), La mesomorfia mantiene las menores distancias con el índice Dr y con los índices 2D:4D respecto a las otras componentes somatotípicas, La Masa muscular posee mayor distancia respecto a Dr que la mesomorfia.

5.6 Correlación índices corporales y fracciones de masa corporal

Se estudia las correlaciones entre los índices corporales y las fracciones de masa corporal obtenidas con el protocolo de Ross y Kerr. Se observó que existe correlaciones estadísticas significativas entre el porcentaje de masa muscular y el índice de Quetelet, dicha correlación es mayor que la obtenida para este índice y el porcentaje de masa adiposa, la cual además no es estadísticamente significativa para esta muestra de deportistas. El índice ponderal presenta una correlación negativa con el porcentaje de masa adiposa y una correlación positiva mayor con el porcentaje de masa muscular, ambas estadísticamente significativas. Se puede concluir que el índice ponderal es más adecuado para estimar el porcentaje de musculo en los individuos de la muestra

Datos correlacionados	r	p	t	Grados de Libertad
Quetelet masa adiposa	0,4510101	0,0005488	3,6788	53
Quetelet % masa adiposa	-0,1991196	0,145	-1,4792	
Quetelet masa muscular	0,7587333	1,932e-11	8,4797	
Quetelet % masa muscular	0,6359026	1,821e-07	5,9985	
Ponderal masa adiposa	0,4095244	0,001904	3,268	
Ponderal % masa adiposa	-0,4857554	0,0001703	-4,0457	
Ponderal masa muscular	0,9451377	< 2,2e-16	21,063	
Ponderal % masa muscular	0,6975801	3,257e-09	7,0878	
Rohrer Masa Adiposa	0,2866359	0,03387	2,1781	
Rohrer % Masa Adiposa	0,1976678	0,148	1,468	
Rohrer Masa Muscular	0,2110882	0,1219	1,5722	
Rohrer % Masa Muscular	0,2717477	0,04475	2,0557	

Tabla 42, Tabla de correlaciones entre los índices y los componentes corporales de acuerdo al protocolo de 5 fracciones

6 Recomendaciones, conclusiones, trabajos futuros y ejemplos de aplicación

La revisión del método de estimación de la tasa metabólica usando la superficie corporal evidencio la necesidad de obtener ecuaciones para la superficie corporal a partir de las medidas antropométricas, en este sentido el estudio presentado en [78] muestra perspectivas en esta dirección

Aunque existen diferentes metodologías para evaluar el gasto energético en deportistas [34], [35], [74] sólo algunos de ellas se adaptan al estudio de campo (para la Ecología Humana) de poblaciones de interés antropológico, por su ubicación geográfica [79] o por ser poblaciones tradicionales o vulnerables. La medición del gasto energético aporta información importante en estudios de antropología biológica relativos a la actividad física, al estado nutricional y a la variabilidad humana, para adelantar investigaciones en poblaciones que viven en situaciones socioeconómicas precarias o con actividad física muy intensa, como cortadores de caña, trabajadores de la construcción y en general poblaciones indígenas y campesinas de Colombia. Aproximarse al estudio del estado nutricional y gasto energético en estas poblaciones permite evaluar los requerimientos de la ingesta diaria de forma más individualizada.

El desarrollo de equipos y metodologías seria de importancia en esta área, además de la utilización estrategias nuevas como las presentadas en [17], se puede adelantar estudio que permitan establecer metodologías para estimar tasas metabólicas si se dispone de medidas antropométricas partiendo de los presupuestos teóricos presentados en el apartado 3.5. Adicional a la determinación del estado nutricional y el somatotipo, la determinación de la composición corporal permite aproximarse al estudio de las tasas metabólicas, lo cual en relación con el desarrollo de metodologías para la evaluación del gasto energético abriría posibilidades, tato para la orientación del entrenamiento deportivo, como para el adecuado seguimiento de las necesidades calóricas de un individuo.

A continuación se presenta el ejemplo del uso de algunos de los conceptos y metodologías presentadas en este trabajo para su utilización en la preparación de los deportistas. Primero se presenta como el uso del somatotipo puede guiar el entrenamiento deportivo, y

posteriormente se presenta el ejemplo del cálculo de los equivalentes metabólicos para algunos jugadores lo cual permiten estimar la energía consumida durante el desarrollo de una determinada actividad física. Queda así abierta la posibilidad de desarrollar estudios en relación con estos temas en los cuales además se puede incluir la revisión de estos con el coeficiente digital

6.1 Aplicaciones

6.1.1 Somatotipo y entrenamiento deportivo

En la sección 1,5 se presentaron datos de estudios previos en jugadores profesionales de fútbol, en la Tabla 1 se presentan los datos de somatotipo de 4 publicaciones y el promedio, estos datos se utilizaran para comparar los jugadores de las tres categorías estudiadas por medio del SDD, En la sección 3,4,1 se presentó la estrategia de De Rose y Guimaraes (Figura 5), en la se presentan los valores calculados para el SDD de cada jugador, con dicho valor nos remitimos al algoritmo y con este se ordenaría el entrenamiento

Ref	Endomorfia	Mesomorfia	Ectomorfia	X	Y
[6]	2,1	5,3	2,2	0,1	6,3
[21]	2,3	4,8	2,2	-0,1	5,1
[22]	2,2	5,1	1,9	-0,3	6,1
[23]	2,18	4,95	1,85	-0,33	5,87
[24]	2,37	4,47	2,7	0,33	3,87
Promedio	2,23	4,924	2,17	-0,06	5,448

Tabla 43, En la tabla se presentan datos de equipos profesionales de fútbol , A partir del estos se calcula un promedio que se utiliza como referencia para realizar la comparación con las categorías del envigado,

Código de Jugador	Sub 17 (Xprom=0,70; Yprom=5,56)		1° B (Xprom=0,39; Yprom=3,36)		Infant (Xprom=-0,64; Yprom=2,29)	
	Profesional	Sub 17	Profesional	1°B	Profesional	Infantil
1	10,14	9,49	2,22	4,23	4,65	3,72
2	1,60	0,61	1,87	2,80	3,33	3,44
3	3,35	3,76	2,00	1,41	6,58	5,01
4	3,35	4,05	1,61	0,63	9,53	7,90
5	9,25	8,43	1,62	1,45	5,54	3,78
6	2,01	2,52	2,60	0,61	5,41	2,10
7	2,22	2,11	3,88	2,31	7,64	5,63
8	3,87	2,71	2,77	1,19	5,44	5,45
9	2,81	2,70	1,65	3,82	9,93	8,56
10	2,63	3,06	8,18	5,95	4,87	3,39
11	5,32	5,38	1,36	2,38	4,22	4,46
12	1,21	1,09	2,12	1,07	1,09	2,23
13	2,88	1,66	7,38	5,19	4,73	3,07

14	3,45	2,91	2,02	0,51	0,73	3,13
15	3,55	2,35	1,09	1,26	3,78	2,51
16	3,21	2,69	1,82	0,60		
17	3,22	3,35	5,17	2,94		
18	0,87	0,97	4,25	2,63		
19	5,01	5,61	1,82	0,86		
20	4,76	3,95				
21	4,91	5,49				

Tabla 44. Reporte del SDD de todos los jugadores. En la tabla se evidencia en verde los jugadores que no presentan diferencias significativas con el promedio de las medidas de los equipos profesionales, en amarillo los que están sobre el valor 2 a partir del cual se considera que hay diferencias significativas.

6.1.2 Cálculo de MET y evaluación de gasto energético durante la actividad física

Es de interés conocer cuánto es el gato calórico durante una actividad física para evitar que quien la práctica no sufra de fatiga (ver apartado 3.9), esto es de iteres tanto en el ámbito de la salud ocupacional como en el entrenamiento deportivo. El cálculo de los MET se puede realizar de forma sencilla como se describe en la sesión 3.8.1. En la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados realizados con las ecuaciones del apartado 3.8.1, en ella se puede observar cuantas calorías por minuto gastarían los individuos para los cuales está construida dicha tabla de acuerdo a la intensidad del ejercicio realizado, con esto se podría diseñar las sesiones de entrenamiento atendiendo a los conceptos presentados en el apartado 3.9 evitando producir fatiga en los jugadores.

Jugador	Intensidad (en %)	Cal/min	MET	% VO2max por intensidad	VO2Max	% VO2Max	F, C, Reposo	RCE	RCMT	RRC	peso	Edad
1 (1°B)	60	7,97	6,39	42	53,33	22,39	65	143,74	196,24	131,24	71,2	18,220
	70	10,63	8,53	56		29,86		156,87				
	80	13,28	10,66	70		37,33		169,99				
	100	18,98	15,23	100		53,33		196,24				
4 (1°B)	60	7,15	6,11	42	50,95	21,39	54	139,78	196,97	142,97	66,9	17,176
	70	9,54	8,15	56		28,53		154,08				
	80	11,92	10,19	70		35,66		168,38				
	100	17,04	14,55	100		50,95		196,97				
7 (1°B)	60	9,27	6,97	42	58,14	24,41	70	146,43	197,38	127,38	76	16,594
	70	12,37	9,30	56		32,55		159,16				
	80	15,46	11,62	70		40,69		171,90				
	100	22,09	16,61	100		58,14		197,38				
10 (1°B)	60	7,35	6,73	42	56,13	23,57	79	149,26	196,10	117,10	62,4	18,425
	70	9,80	8,98	56		31,43		160,97				
	80	12,25	11,22	70		39,29		172,68				
	100	17,51	16,03	100		56,13		196,10				
1°B11	60	8,74	6,98	42	58,18	24,43	70	146,44	197,41	127,41	71,6	16,553
	70	11,66	9,30	56		32,58		159,18				
	80	14,57	11,63	70		40,72		171,93				
	100	20,82	16,62	100		58,18		197,41				
1°B 12	60	9,30	7,10	42	59,18	24,85	58	140,87	196,11	138,11	74,9	18,400
	70	12,41	9,46	56		33,14		154,68				
	80	15,51	11,83	70		41,42		168,49				
	100	22,16	16,90	100		59,18		196,11				

1°B 14	60	8,90	7,29	42	60,76	25,51	57	141,11	197,19	140,19	69,8	16,859
	70	11,87	9,72	56		34,02		155,13				
	80	14,84	12,15	70		42,53		169,15				
	100	21,20	17,36	100		60,76		197,19				
1°B 15	60	7,77	6,42	42	53,51	22,47	80	149,81	196,35	116,35	69,2	18,069
	70	10,36	8,56	56		29,96		161,44				
	80	12,96	10,70	70		37,45		173,08				
	100	18,51	15,28	100		53,51		196,35				

Tabla 45, Ejemplo de cálculo de MET para algunos jugadores del EFC

7 Referencias

- [1] F. X. Medina y R. Sánchez Martín, «Introducción. La antropología del deporte en España: Visión crítica y perspectivas de futuro», *Rev. Dialectol. Tradic. Pop.*, vol. 61, n.º 2, pp. 7-17, 2006.
- [2] E. C. Barahona y M. E. P. Reyes, «Capacidad vital y composición corporal bajo entrenamiento deportivo», *Estud. Antropol. Biológica*, vol. 4, n.º 0, 1989.
- [3] H. B. León, J. A. Viramontes, y C. M. R. García, «Proporcionalidad corporal de estudiantes cubanos de danza clásica, moderna y folclórica», *Arch. Med. Deporte Rev. Fed. Esp. Med. Deporte Confed. Iberoam. Med. Deporte*, n.º 142, pp. 93-102, 2011.
- [4] M. E. P. R, E. C. B, y J. L. del O. C, «Crecimiento y maduración ósea en deportistas preadolescentes y adolescentes», *Estud. Antropol. Biológica*, vol. 2, n.º 1, 1984.
- [5] V. Fuster, E. Rebato, J. Rosique, y J.-R. Fernández López, «Physical activity related to forced vital capacity and strength performance in a sample of young males and females», *Coll. Antropol.*, vol. 32, n.º 1, pp. 53-60, mar. 2008.
- [6] B. M. Pérez, «Deporte y actividad física desde la perspectiva de la antropología física», *An. Venez. Nutr.*, vol. 19, n.º 2, pp. 83-88, ene. 2006.
- [7] J. R. Nitsch y D. Samulski, «Psicología deportiva. desarrollo – objeto – ubicación – tareas – resultados de investigación», *Educ. Física Deporte*, vol. 2, n.º 1 y 2, feb. 2012.
- [8] M. Galvis y H. de Jesús, «La formación en valores a través de la práctica deportiva», *VIREF Rev. Educ. Física*, vol. 1, n.º 1, pp. 30-33, may 2013.
- [9] L. L. Vélez, *Detrás del balón: historia del fútbol en Medellín, 1910-1952*. Carreta Editores, 2004.
- [10] J. Porta Manzañido, «Cineantropometría: historia, presente y futuro». INEFC, Barcelona.
- [11] Á. Herrero de Lucas, «Cineantropometría: composición corporal y somatotipo de futbolistas que desarrollan su actividad física en equipos de la Comunidad Autónoma de Madrid», Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, 2004.
- [12] R. Eston y T. Reilly, *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Anthropometry*, 3.ª ed., vol. 1. Taylor & Francis, 2008.
- [13] J. E. L. Carter, «Anthropometry of team sports», en *Kinanthropometry VIII: Proceedings of the 8th International Conference of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)*, T. Reilly y M. Marfell-Jones, Eds. Routledge, 2003.
- [14] J. Rodríguez Ordax y N. Terrados Cepeda, «Métodos para la valoración de la actividad física y el gasto energético en niños y adultos», *Arch. Med. Deporte Rev. Fed. Esp. Med. Deporte Confed. Iberoam. Med. Deporte*, n.º 115, pp. 365-378, 2006.

- [15] N. G. Vallejo, J. A. de P. Fernández, y E. C. Almeida, «Métodos de cuantificación de la energía gastada y de la actividad física», *Arch. Med. Deporte Rev. Fed. Esp. Med. Deporte Confed. Iberoam. Med. Deporte*, n.º 96, p. 331-, 2003.
- [16] J. Laguna y E. P. Garza, *Bioquímica de Laguna*. El Manual Moderno, 2002.
- [17] D. A. Urrego, M. B. Salazar, S. L. Arias, J. E. Ardila, J. D. Lemos, y A. M. Hernandez, «Prototipo de Medidor Metabólico Portátil para Aplicaciones en Antropología Biológica y Ecología Humana», en *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, J. F. Méndez, T. Y. A. Rodríguez, C. F. C. Marín, S. B. L. Ruiz, J. C. Medina, H. V. Vázquez, M. C. Barreda, y R. R. Rojas, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 722-725.
- [18] L. Cordain, R. W. Gotshall, S. B. Eaton, y S. B. Eaton 3rd, «Physical activity, energy expenditure and fitness: an evolutionary perspective», *Int. J. Sports Med.*, vol. 19, n.º 5, pp. 328-335, jul. 1998.
- [19] S. B. Eaton y S. B. Eaton, «An evolutionary perspective on human physical activity: implications for health», *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.*, vol. 136, n.º 1, pp. 153-159, sep. 2003.
- [20] C. M. López-Fontana, M. A. Martínez-González, y J. A. Martínez, «Obesidad, metabolismo energético y medida de la actividad física», *Rev. Esp. Obes.*, vol. 1, n.º 1, pp. 29-36, 2003.
- [21] United Nations University, World Health Organization, y Food and Agriculture Organization of The United Nations, *Human Energy Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation: Rome, 17-24 October 2001*, vol. 1. Roma: Food & Agriculture Org, 2004.
- [22] J. T. Manning, «The Ratio of 2nd and 4th Digit Length: A Prenatal Correlate of Ability in Sport», en *Kinanthropometry VIII: Proceedings of the 8th International Conference of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)*, T. Reilly y M. Marfell-Jones, Eds. Routledge, 2003.
- [23] I. S. for A. of K. I. Conference, T. Reilly, y M. Marfell-Jones, *Kinanthropometry VIII: Proceedings of the 8th International Conference of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)*. Routledge, 2003.
- [24] J. T. Manning y R. P. Taylor, «Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans», *Evol. Hum. Behav.*, vol. 22, n.º 1, pp. 61-69, 2001.
- [25] E. J. Austin, J. T. Manning, K. McInroy, y E. Mathews, «A preliminary investigation of the associations between personality, cognitive ability and digit ratio», *Personal. Individ. Differ.*, vol. 33, n.º 7, pp. 1115-1124, 2002.
- [26] V. A. S. M.Sc y J. T. Manning, «Second to fourth digit ratio in elite musicians: Evidence for musical ability as an honest signal of male fitness», *Evol. Hum. Behav.*, vol. 21, n.º 1, pp. 1-9, ene. 2000.

- [27] J. Hönekopp, J. T. Manning, y C. Müller, «Digit ratio (2D:4D) and physical fitness in males and females: Evidence for effects of prenatal androgens on sexually selected traits», *Horm. Behav.*, vol. 49, n.º 4, pp. 545-549, abr. 2006.
- [28] N. A. Lentini, G. Gris, M. L. Cardey, y P. A. Dolce, «Estudio somatotípico en deportistas de alto rendimiento de Argentina», *AMD*, vol. XXI, n.º 104, pp. 497-509, 2004.
- [29] J. A. Casajús y M. T. Aragonés, «Estudio morfológico del futbolista de alto nivel. Composición corporal y somatotipo», *Arch. Med. Deporte*, vol. VIII, n.º 30, pp. 147 - 151, 1991.
- [30] A. Herrero de Lucas, C. Armesilla, y I. Maestre López, «Morfortipo del futbolista profesional de la Comunidad Autónoma de Madrid. Composición corporal», *Biomecánica*, vol. 12, n.º 1, pp. 72-77, 2004.
- [31] G. D. Zubeldía y O. C. Mazza, «Características Antropométricas y Funcionales en Futbolistas de 14 a 15 años pertenecientes a Racing Club», *G-SE Stand.*, nov. 2003.
- [32] G. D. Zubeldía, «Características Físicas y Antropométricas correspondiente a las divisiones del Fútbol juvenil del Club Atlético Lanús», *G-SE Stand.*, nov. 2007.
- [33] O. C. Mazza y G. D. Zubeldía, «Masa Muscular y su Relación con las Capacidades Funcionales en Futbolistas de 16 – 17 años pertenecientes a Racing Club», *G-SE Stand.*, sep. 2005.
- [34] M. F. Candela, «ANÁLISIS DEL GASTO CALÓRICO EN JUGADORES DE FÚTBOL SEGÚN LA POSICIÓN», *Rev. Digit. Investig. Educ.*, n.º 8, abr. 2004.
- [35] P. Scaglioni, L. F. Aragón, y W. Salazar, «INTENSIDAD DE JUEGO Y GASTO ENERGÉTICO DE FUTBOLISTAS COSTARRICENSES DE 1ª DIVISION DURANTE UN PARTIDO DE FUTBOL», *Rev. Fútbol. Ciencia® Vol 1 No 2 2002 ÍNDICE*, vol. 1, n.º 1, 2002.
- [36] K. V. Cámara y K. S. Gavini, «FÚTBOL: ASPECTOS FISIOLÓGICOS, ANTROPOMÉTRICOS Y NUTRICIONALES», 18-mar-2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.nutrinfo.com/pagina/info/futbol.html>. [Accedido: 12-ago-2012].
- [37] «Conmebol», 28-jul-2012. [En línea]. Disponible en: http://www.conmebol.com/pages/estadisticas_copa_sudamericana.html. [Accedido: 28-jul-2012].
- [38] «Los secretos del Envigado Fútbol Club | ELESPECTADOR.COM», 28-jul-2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/investigacion/articulo-356383-los-secretos-del-envigado-futbol-club>. [Accedido: 28-jul-2012].
- [39] «: DIMAYOR División Mayor del Fútbol Profesional Colombiano | Fútbol Colombiano», 28-jul-2012. [En línea]. Disponible en: <http://dimayor.com/#>. [Accedido: 28-jul-2012].
- [40] «Efisae Envigado se convirtió por cuarta vez consecutiva como campeón del Ponyfútbol - Archivo - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com», 28-jul-2012. [En línea]. Disponible en:

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3927603>. [Accedido: 28-jul-2012].

- [41] K. Norton, T. Olds, J. C. Mazza, y G. Cuesta, *Antropométrica: Un Libro de Referencia Sobre Mediciones Corporales Humanas Para la Educación en Deportes Y Salud*. Biosystem Servicio Educativo, 2000.
- [42] J. L. Arcodia, «La cineantropometría aplicada al campo de la salud», *Rev. Mens. Antropometría*, n.º 5, jun. 2011.
- [43] C. Chevallier y L. Fiority, «Composición corporal y metabolismo energético», *Boletín CESNI*, 2001.
- [44] P. Sáez Madain, «Errores Conceptuales en Estudios Antropométricos que Buscan Estimar la Composición Corporal», *G-SE - PubliCE Stand.*, nov. 2004.
- [45] W. D. Ross y D. A. Kerr, «Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva», *Apunts*, vol. 18, pp. 175–87, 1991.
- [46] J. A. F. López, X. Remesar, y M. Alemany, «Ventajas teóricas del índice de Rohrer (P/A3) sobre el índice de masa corporal (P/A2) para la estimación de la adiposidad en humanos», *Rev Esp Obes*, vol. 3, n.º 1, pp. 47–55, 2005.
- [47] T. J. Cole, K. M. Flegal, D. Nicholls, y A. A. Jackson, «Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents: international survey», *BMJ*, vol. 335, n.º 7612, p. 194, jul. 2007.
- [48] R. P. Garrido Chamorro y M. Gonzáles Lorenzo, «Índice de masa corporal y composición corporal. Un estudio antropométrico de 2500 deportistas de alto nivel», *efdeportes.com*, vol. 10, n.º 76, sep. 2004.
- [49] J. A. Fernández Vieitez y R. M. García Suárez, «Índices de relación peso-talla como indicadores de masa muscular en el adulto del sexo masculino», *Rev Cuba. Aliment Nutr*, vol. 12, n.º 2, pp. 91-95.
- [50] J. E. S. Belando y R. P. G. Chamorro, *Valoración antropométrica de la composición corporal: Cineantropometría*. Universidad de Alicante, 2009.
- [51] M. Sillero Quintana, *Teoría de Kineantropometría. Apuntes para el seguimiento de la asiganatura «Kinantropometría»*. Facultad de ciencias de la actividad física y del deporte (INEF), 2004.
- [52] A. Godoy Cumillaf, T. Molina Monje, y P. Hernández Colina, «Somatotipo y rendimiento académico en alumnos de 3º y 4º medio de establecimientos municipales en las comunas de Temuco, Saavedra y Lonquimay, región de la Araucanía, Chile», <http://www.efdeportes.com/>, vol. 14, n.º 138, nov. 2009.
- [53] J. E. L. Carter, «The Heath-Carter Anthropometric Somatotype-Instruction Manual». 2002.
- [54] R. Glaser, *Biofísica*. Acribia, 2003.

- [55] P. García-Loda y A. M. García Lorda, «Historia del metabolismo energético y proteico», en *La Alimentación y la nutrición a través de la historia*, J. S. Salvadó, P. G. Lorda, y J. M. S. i Ripollès, Eds. Editorial Glosa, S.L., 2005, pp. 419-445.
- [56] P. R. Mondelo, E. G. Torada, y P. B. Bombardo, *Ergonomía I. Fundamentos*. Edicions de la UPC, S.L., 2004.
- [57] K. Diem y C. Lentner, *Tablas científicas*. Geigy, 1975.
- [58] A. M. de la Torre, «Metabolismo del ayuno: adaptación y supervivencia», en *Nutrición y metabolismo en trastornos de la conducta alimentaria*, Editorial Glosa, S.L., 2004.
- [59] A. S. Kaplan, B. S. Zemel, y V. A. Stallings, «Differences in resting energy expenditure in prepubertal black children and white children», *J. Pediatr.*, vol. 129, n.º 5, pp. 643-647, nov. 1996.
- [60] J. A. Morrison, M. P. Alfaro, P. Khoury, B. B. Thornton, y S. R. Daniels, «Determinants of resting energy expenditure in young black girls and young white girls», *J. Pediatr.*, vol. 129, n.º 5, pp. 637-642, nov. 1996.
- [61] S. P. Leona Tuesta, «Efecto crónico del entrenamiento sobre la tasa metabólica en reposo. Estudio comparativo entre Hombres Atletas Vs Pesistas Adaptados a la Altura Intermedia (2600msnm)», *ACTA Colomb. Med. DEPORTE*.
- [62] J. J. Cunningham, «Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation», *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 54, n.º 6, pp. 963-969, dic. 1991.
- [63] A. Villazón, F. Terrazas, A. Galindo, y V. Madrigal, «Calorimetría indirecta: diez años de experiencia en el hospital Español», *Lect Nutr*, vol. 3, n.º 5, pp. 623-31, mar. 1996.
- [64] M. Vargas Z, L. Lancheros P, y M. del P. Barrera, «GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO Y COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS», *Rev. Fac. Med. Univ. Nac. Colomb.*, vol. 59, pp. 43-58, 2011.
- [65] M. I. Goran y M. S. Treuth, «ENERGY EXPENDITURE, PHYSICAL ACTIVITY, AND OBESITY IN CHILDREN», *Pediatr. Clin. North Am.*, vol. 48, n.º 4, pp. 931-953, ago. 2001.
- [66] C. B. Cooke, «Metabolic Rate and Energy Balance», en *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Volume 2: Exercise Physiology Tests, procedures and data*, 2.^a ed., vol. 2, T. Reilly y R. Eston, Eds. London: Routledge, 2001.
- [67] D. A. Rincón y C. Y. Komaromy, «Evaluación de seis fórmulas usadas para el cálculo de la superficie corporal», *Rev Fac Med Univ Nac Colomb*, vol. 52, n.º 2, pp. 115-120, 2004.
- [68] J. A. Fernández Vieitez, «Superficie corporal como indicador de masa muscular en el adulto del sexo masculino», *Rev. Cuba. Salud Pública*, vol. 29, n.º 2, pp. 124-127, 2003.

- [69] S. Gibson y A. Numa, «The importance of metabolic rate and the folly of body surface area calculations», *Anaesthesia*, vol. 58, n.º 1, pp. 50-55, ene. 2003.
- [70] B. J. Bailey y G. L. Briars, «Estimating the surface area of the human body», *Stat. Med.*, vol. 15, n.º 13, pp. 1325-1332, jul. 1996.
- [71] T. T Vu, «Standardization of body surface area calculations», *J. Oncol. Pharm. Pract.*, vol. 8, n.º 2-3, pp. 49-54, 2002.
- [72] A. E. el-Khoury, M. Sánchez, N. K. Fukagawa, R. E. Gleason, y V. R. Young, «Similar 24-h pattern and rate of carbon dioxide production, by indirect calorimetry vs. stable isotope dilution, in healthy adults under standardized metabolic conditions», *J. Nutr.*, vol. 124, n.º 9, pp. 1615-1627, sep. 1994.
- [73] T. Reilly y R. Eston, *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Volume 2: Exercise Physiology Tests, procedures and data*, 2.^a ed., vol. 2. London: Routledge, 2001.
- [74] Víctor De Lucio y P. E. Gómez Castañeda, «Entrenamiento aeróbico: control del gasto calórico a través de la frecuencia cardiaca», *efdeportes.com*, vol. 10, n.º 69, feb. 2004.
- [75] M. Marfell-Jones, «Kinanthropometric assessment», *Guidel. Athlete Assess. N. Z. Sport Sports Sci. N. Z.*, 2000.
- [76] R. Jódar Montoro, «Revisión de artículos sobre la validez de la prueba de Course navette para determinar de manera indirecta el VO₂ max», *Rev. Int. Med. Cienc. Act. Física Deporte*, n.º 11, p. 4, 2003.
- [77] J. T. Manning, P. E. Bundred, y R. Taylor, «The Ratio of 2nd and 4th Digit Length: A Prenatal Correlate of Ability in Sport», en *Kinanthropometry VIII: Proceedings of the 8th International Conference of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)*, T. Reilly y M. Marfell-Jones, Eds. Routledge, 2003.
- [78] M. Lintsi, H. Kaarma, M. Aunapuu, A. Arend, y R. Aule, «Correlation between anthropometrical variables and body surface area», *Pap. Anthropol.*, vol. 20, n.º 0, pp. 251-257, 2011.
- [79] J. S. Weiner y J. A. Lourie, *Practical human biology*. Academic Press, 1981.

Anexos.

Código usado, funciones

```
1 # tasa metabolica basal #
2
3 tmb <-function (datos) {
4
5   attach(datos)
6
7   if (EdadD>=5 & EdadD<10) a<-205.1 else
8     if (EdadD>=12 & EdadD<13) a<-0.7550 else
9     if (EdadD>=13 & EdadD<14) a<-0.7416 else
10    if (EdadD>=14 & EdadD<15) a<-0.7300 else
11    if (EdadD>=15 & EdadD<16) a<-0.7283 else
12    if (EdadD>=16 & EdadD<17) a<-0.7150 else
13    if (EdadD>=17 & EdadD<18) a<-0.6983 else
14    if (EdadD>=18 & EdadD<19) a<-0.6750 else
15
16
17   tmbh <- a*sc
18   # en Joules
19   tmbdj <- tmbh*24
20   # en calorías
21   tmbd <- tmbdj/4.2
22
23   detach(datos)
24
25   return(tmbd)
26 }
```